

UNIVERSITE DU QUEBEC

THESE

PRESENTÉE A

L'UNIVERSITE DU QUEBEC A TROIS-RIVIERES

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE ES SCIENCES (ENVIRONNEMENT)

PAR

YVON THIBAUT

B. Sc. (BIOLOGIE).

EFFETS DE VARIATIONS THERMIQUES SUR LA CROISSANCE  
DE DEUX ALGUES VERTES DU SECTEUR DE GENTILLY

DECEMBRE 1978

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

## TITRE

"Effets de variations thermiques sur la croissance de  
deux algues vertes du secteur de Gentilly"

## RÉSUMÉ

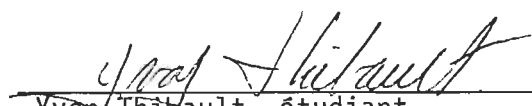
Deux espèces algales voisines (Scenedesmus et Pediastrum) furent récoltées, mises en culture, acclimatées et soumises à des traitements thermiques simulant les variations de température provoquées par le fonctionnement d'une centrale nucléaire telle celle de Gentilly. Une première hypothèse de traitement existait en une élévation de  $10^{\circ}\text{C}$  suivie de son maintien par la suite; la seconde existait en une même élévation de température suivie d'un retour à la normale. Les traitements furent provoqués de façon instantanée ou graduelle.

Le premier type de traitement a provoqué une hausse des taux de croissance spécifiques dans le domaine des faibles températures d'acclimatation ( $10^{\circ} - 15^{\circ}\text{C}$ ) et une baisse aux températures élevées ( $25^{\circ} - 30^{\circ}\text{C}$ ), en passant par un domaine d'effet neutre ( $21^{\circ}\text{C}$ ). Les densités finales moyennes ont subi une hausse substantielle à  $10^{\circ}\text{C}$  et une baisse à  $25^{\circ}\text{C}$  chez Pediastrum, alors que Scenedesmus n'a montré aucune variation significative. A  $30^{\circ}\text{C}$  les deux cultures meurent.

Le second type de traitement n'a provoqué que des variations très minimes et non significatives des taux de croissance spécifiques sur toute l'échelle des températures d'acclimatation étudiées ( $10^{\circ} - 30^{\circ}\text{C}$ ). Les densités finales moyennes n'ont également pas montré de variations significatives chez les deux espèces étudiées.

Les deux espèces phytoplanctoniques étudiées ont semblé être peu sensibles aux écarts de température provoqués; leurs réactions sont, en général, rattachées aux températures d'incubation atteintes, indépendamment de la vitesse ou fréquence des changements imposés. La croissance s'accélère des basses températures ( $10^{\circ}\text{C}$ ) jusqu'à une température optimale ( $26^{\circ}\text{C}$ ) et ralentit par la suite. Aucun traitement n'a entraîné de retard de croissance ni de variations significatives dans les temps d'atteinte des densités finales des cultures.

Des prévisions peuvent être faites concernant les effets possibles du fonctionnement d'une centrale nucléaire sur les communautés de producteurs primaires soumises à l'influence des rejets thermiques. Le phytoplancton ne risque vraisemblablement pas d'être affecté de façon significative par les variations de température auxquelles il sera soumis alors que le périphyton situé dans le cône de rejet risque d'être favorisé. Seul le fonctionnement de la centrale pourra cependant révéler toute l'ampleur des modifications qui suivront.

  
Yvon Thibault, étudiant

  
Richard Couture, directeur de thèse  
Département Chimie-Biologie

## TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
TABLE DES MATIERES	i
LISTE DES FIGURES	iii
LISTE DES TABLEAUX	vi
INTRODUCTION	1
REMERCIEMENTS	4
 Section	
I. MATERIEL ET METHODES	6
1. Les algues	6
A. Provenance	6
B. Mode d'isolation	7
C. Identification	8
D. Critères de choix	10
2. Les conditions de culture	12
A. La fiole de culture	12
B. Le système d'aération-agitation	14
C. Le système de filtration	14
D. Le système d'humidification	15
E. Le système d'éclairage	17
F. Le système de contrôle de la température	20
G. L'assemblage des éléments du module de culture	21
H. Le milieu de culture	23
I. Les conditions de travail	23
J. Le maintien des cultures	26
3. La mise en marche des traitements	28
A. Conditions préalables	28
B. Description des traitements	29
C. Mode d'opération des traitements	29
D. Mise en marche des cultures traitées	31
4. L'échantillonnage et les mesures	32
A. Théorie de la néphélémétrie	32
B. L'appareil de mesure néphélémétrique	32
C. Critique de la méthode	33
D. Mode d'échantillonnage	34
5. Le traitement des données	36
A. Données de croissance	36
a) Théorie de la croissance en culture	36
b) Le taux de croissance spécifique	38
c) Calcul du taux de croissance spécifique	40

	Page
B. Données de temps et de densités	41
a) Etablissement des courbes de calibration	41
b) Détermination des densités et des temps	46
II. RESULTATS	49
Cinétiques de croissance: modifications possibles et modifications observées	49
1. Retards de croissance	52
2. Variations des taux de croissance	53
A. Cas des cultures témoins	53
B. Cas des cultures traitées	64
a) Traités de l'hypothèse 1	65
b) Traités de l'hypothèse 2	77
3. Densités finales	87
A. Influence du type de traitement	89
B. Influence de la température	92
4. Temps	108
A. Influence du type de traitement	108
B. Influence de la température	111
III. DISCUSSION	113
CONCLUSION	138
BIBLIOGRAPHIE	142
APPENDICE A	148
APPENDICE B	149
APPENDICE C	150
APPENDICE D	151
APPENDICE E	153
APPENDICE F	155

# LISTE DES FIGURES

	Page
1. Description des éléments du module de culture	13
2. Description du module de culture	22
3. Cinétique normale de croissance d'une culture algale	37
4. Droites de régression illustrant la relation entre la densité optique et la concentration en coenobes	45
5. Points de modification d'une cinétique de croissance normale	50
6. Taux de croissance spécifiques moyens des témoins aux diverses températures d'acclimatation	58
7. Droites de régression illustrant la relation entre le taux de croissance spécifique moyen des témoins et l'inverse de la température	62
8. Taux de croissance spécifiques relatifs des traités de l'hypothèse 1 et du témoin, selon la température	66
9. Taux de croissance spécifiques relatifs moyens des traités de l'hypothèse 1 et du témoin, selon la température d'acclimatation et d'incubation	70
10. Taux de croissance spécifiques moyens des traités de l'hypothèse 1 et du témoin, selon la température d'acclimatation et d'incubation	71
11. Taux de croissance spécifiques relatifs moyens des traités de l'hypothèse 1, selon la température d'acclimatation et des témoins correspondant à la température d'incubation de ces traités	75
12. Taux de croissance spécifiques moyens des traités de l'hypothèse 1, selon la température d'acclimatation et des témoins correspondant à la température d'incubation de ces traités	76

## Figure

## Page

13.	Taux de croissance spécifiques relatifs des traités de l'hypothèse 2 (traitement 1) et du témoin, selon la température	78
14.	Taux de croissance spécifiques relatifs des traités de l'hypothèse 2 (traitement 2) et du témoin, selon la température	79
15.	Taux de croissance spécifiques relatifs moyens des traités de l'hypothèse 2 et du témoin, selon la température	84
16.	Taux de croissance spécifiques moyens des traités de l'hypothèse 2 et du témoin, selon la température	85
17.	Densités moyennes atteintes par les cultures témoins, selon la température	96
18.	Densités moyennes relatives atteintes par les cultures traitées selon l'hypothèse 1 et les cultures témoins, selon la température d'acclimatation et d'incubation	97
19.	Densités moyennes atteintes par les cultures traitées selon l'hypothèse 1 et les cultures témoins, selon la température d'acclimatation et d'incubation	98
20.	Densités moyennes relatives atteintes par les cultures traitées selon l'hypothèse 2 et les cultures témoins	100
21.	Densités moyennes atteintes par les cultures traitées selon l'hypothèse 2 et les cultures témoins	101
22.	Droites de régression illustrant la relation entre les densités finales moyennes atteintes par les cultures témoins, selon la température	103
23.	Droites de régression illustrant la relation entre les densités finales moyennes atteintes par les cultures traitées selon l'hypothèse 2, selon la température	104
24.	Droites de régression illustrant la relation entre les densités finales moyennes atteintes par les cultures traitées selon l'hypothèse 1, selon la température d'acclimatation et d'incubation	106



Figure

Page

25. Courbes de croissance de Chlorella pyrenoidosa TX71105 et de la bactérie Gram négative ajoutée à la culture comme contaminant bactérien

115

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1. Volumes d'eau restant dans les fioles de culture après essai du système aérateur-humidificateur	16
2. Influence de l'intensité d'éclairement sur le taux de croissance spécifique	19
3. Caractéristiques du milieu de culture Bold's basal	24
4. Identification et description des traitements effectués	30
5. Nombres de colonies par carré	43
6. Nombres moyens de cellules par coenobe	44
7. Taux de croissance spécifiques des cultures, selon le type de traitement et la température	54
8. Comparaison des taux de croissance spécifiques des différents témoins à chaque température d'acclimatation et taux de croissance spécifiques moyens substitués	55
9. Valeurs de Q10 de k' pour les intervalles de température compris entre les limites de 10° et 35°C	60
10. Comparaison des taux de croissance spécifiques des traités de l'hypothèse 1 et de l'ensemble traités-témoin, selon la température et résultats de l'analyse de covariance	67
11. Comparaison des taux de croissance spécifiques moyens des traités de l'hypothèse 1 et des témoins, selon la température et résultats de l'analyse de covariance	69
12. Comparaison des taux de croissance spécifiques moyens des traités de l'hypothèse 1 et des témoins correspondant à la température d'incubation (T10) de ces traités	73
13. Comparaison des taux de croissance spécifiques des traités de l'hypothèse 2 et de l'ensemble traités-témoin, selon la température et résultats de l'analyse de covariance	80

Tableau	Page
14. Comparaison des taux de croissance spécifiques moyens des traités de l'hypothèse 2 et des témoins, selon la température et résultats de l'analyse de covariance	83
15. Densités finales atteintes par les cultures, selon le type de traitement et la température	88
16. Comparaison des densités moyennes atteintes, selon le type de traitement et résultats de l'analyse de variance	90
17. Densités moyennes atteintes par les cultures, selon la température et résultats de l'analyse de variance	93
18. Comparaison des densités moyennes atteintes par les cultures traitées selon les hypothèses 1 et 2 aux densités moyennes des témoins, selon la température	95
19. Temps requis par les cultures pour l'atteinte des densités finales en phase stationnaire, selon le type de traitement et la température	109
20. Temps moyens requis par les cultures pour l'atteinte des densités finales en phase stationnaire, selon le type de traitement et résultats de l'analyse de variance	110
21. Temps moyens requis par les cultures pour l'atteinte des densités finales en phase stationnaire, selon la température et résultats de l'analyse de variance	112

## INTRODUCTION

La pollution thermique le long du fleuve Saint-Laurent est un sujet qui soulève de plus en plus d'attention. Les prévisions d'installation de plusieurs centrales nucléaires du type de celle de Gentilly I (trois centrales d'ici l'année 1985 sur le site de Gentilly), font qu'une partie de plus en plus importante des eaux naturelles sera utilisée comme réfrigérant. Le rejet de ces eaux dont la température aura été élevée va créer dans certaines sections du fleuve, particulièrement les rives et les baies en aval de la source de libération, des conditions nouvelles. Ce changement de conditions n'est pas sans présenter des risques sur les diverses composantes du milieu aquatique, surtout les communautés d'organismes qui y vivent.

Les études écologiques relatives aux implications de l'implantation de centrales nucléaires se font de plus en plus pressantes. Il importe de déterminer l'impact ou les risques que peuvent présenter les rejets thermiques qui y sont rattachés sur les composantes des divers maillons des chaînes trophiques aquatiques. Les premières étapes de recherche, soit la description des conditions initiales et la mesure de l'étendue de la perturbation thermique ont été entreprises par le groupe de recherche Thermopol depuis bientôt huit ans. Afin d'établir la capacité d'acceptation de l'habitat en fonction des perturbations causées, des recherches additionnelles s'avèrent nécessaires pour évaluer les risques

encourus par les biocénoses et faire des prévisions quant aux effets du réchauffement sur celles-ci. Cette étape franchie, il sera possible de fixer des normes concernant les modalités à suivre pour le rejet des eaux chaudes, afin de mieux protéger le milieu aquatique.

La température de l'eau est reconnue d'une grande importance pour le développement, la croissance, et la distribution géographique des algues (Briand, 1975; Eppley, 1972; Reynolds & Casterlin, 1977). Comme agent contrôlant, la température influence directement le taux de photosynthèse et de respiration, affectant ainsi la croissance (McCombie, 1960; Coldman & Carpenter, 1974; Pope & Berger, 1974). Indirectement, la température peut limiter la croissance en restreignant la quantité d'oxygène soluble dans l'eau.

Le phytoplancton (algues) est le maillon de base des chaînes trophiques aquatiques; une quelconque modification de sa croissance ou sa survie peut avoir des conséquences sur tous les maillons subséquents. Bien que les algues présentent un intérêt critique, les travaux effectués à ce jour par le Groupe Thermopol ont porté surtout sur les macroorganismes (benthos, poissons, plantes aquatiques). Le besoin de données quantitatives concernant l'effet de la température devient évident si nous voulons déterminer le rôle de celle-ci en eaux naturelles et l'impact de la pollution thermique.

Bien que l'effet de la température sur le phytoplancton soit assez bien connu, peu d'études, du moins à nos latitudes, ont porté sur l'effet de chocs, et les modèles permettant de faire des prévisions nous

manquent encore. Une étude a donc été entreprise en laboratoire, en conditions contrôlées, afin de déterminer "in vitro" la réaction de croissance d'espèces phytoplanctoniques soumises à différents traitements thermiques simulant l'opération d'une centrale nucléaire. L'effet direct enregistré devrait nous permettre certaines prévisions.

Deux espèces représentatives du groupe des algues vertes (chlorophycées) ont été choisies, isolées et mises en culture sous conditions contrôlées. Elles furent ensuite acclimatées à diverses températures et soumises à une même série de traitements thermiques. Les traitements furent choisis selon deux hypothèses et effectués de deux façons différentes. Les réactions furent mesurées aux niveaux des taux de croissance, des densités finales atteintes et des temps requis pour atteindre ces mêmes densités.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer toute ma gratitude aux personnes qui m'ont aidé à la réalisation de cette étude.

Au docteur Richard Couture, directeur de ce projet, qui m'a apporté le support financier ainsi que l'encouragement nécessaire tout au long des travaux. Merci pour la confiance illimitée qu'il a su m'accorder.

A mon confrère Pierre Trudel, étudiant au Département de Chimie-Biologie, qui m'a assisté durant toute la partie expérimentale des travaux, pour l'intérêt marqué ainsi que les discussions enrichissantes qu'il a su provoquer.

Au docteur Antoine Aubin, du Département de Chimie-Biologie, pour le matériel prêté ainsi que les judicieux conseils portant sur le traitement statistique des résultats.

Aux deux appariteurs Françoise Caron et Pierre Sasseville, pour le matériel prêté ainsi que la collaboration fournie avec empressement.

A Shirley McMurray, du Groupe Thermopol, pour l'élaboration des figures ainsi qu'à Réjeanne Brière, du Département de Chimie-Biologie, pour la dactylographie des tableaux et des appendices.

A Hélène Contant, du Groupe Thermopol, pour les conseils et l'intérêt porté dans les diverses étapes du travail.

Cette étude a été réalisée grâce aux subventions et commandi-

tes du Conseil national de recherches du Canada et de la Compagnie Energie atomique du Canada limitée.



## I- MATERIEL ET METHODES

### 1- Les algues

#### A- Provenance

Les espèces phytoplanctoniques utilisées pour notre étude provenaient d'échantillons prélevés du fleuve Saint-Laurent dans le secteur de la centrale nucléaire Gentilly I. Les prélèvements furent effectués en octobre 1976 à l'aide d'un filet à plancton Wildco à mailles de 153 $\mu$  traîné en surface au moyen d'une embarcation motorisée.

Les échantillons furent immédiatement transférés dans des contenants Nalgene et transportés au laboratoire pour fin de mise en culture. Ils furent redivisés et transférés dans des fioles coniques renfermant du milieu de culture. Celles-ci furent alors rangées près d'une fenêtre sous l'éclairage du jour. Une pompe à air fut installée sur chacune des fioles assurant l'aération et l'agitation nécessaires à la croissance des organismes phytoplanctoniques contenus dans celles-ci. Ce mode de culture a été maintenu pendant une période d'environ six semaines afin de permettre aux algues de s'y adapter. Durant ce même intervalle, les espèces les plus adaptées à ces conditions ont prospéré tout en supplantant d'autres espèces défavorisées. Ceci devait nous faciliter la procédure d'isolation d'une espèce et nous permettait d'espérer un certain succès de culture en choisissant parmi les espèces les plus fortement représentées.

## B- Mode d'isolation

Après revue des divers modes d'isolation possibles (Fogg et al., 1973; Gerloff et al., 1950; James, 1971; Lewin, 1959; Round, 1965), celui de l'étalement sur gélose fut retenu. Une goutte de l'échantillon de plancton fut prélevée à l'aide d'une pipette Pasteur dont l'extrémité avait préalablement été recourbée à la flamme. Cette goutte fut ensuite étalée sur une gélose stérile faite de milieu de culture solidifié avec de l'agar 2%, Difco "Bacto-agar". Les boîtes de Petri, de type Millipore, 8,5 x 48 mm renfermant les géloses ensemencées furent ensuite placées pour incubation sous éclairage fluorescent de type Cool-White à la température de la pièce.

Après environ une quinzaine de jours généralement, les colonies étaient visibles à l'oeil nu. Cette période fut légèrement plus courte cependant lors des étalements ultérieurs, les algues n'ayant plus eu à s'adapter au passage d'un milieu liquide à un milieu solide. Les colonies furent d'abord observées au microscope jusqu'à reconnaissance d'espèces désirables et celles étant alors isolées et d'apparence homogène furent ensuite prélevées à l'aide d'un pic stérilisé à la flamme puis transférées aseptiquement sur une nouvelle gélose stérile. Ce prélèvement fut dissous dans une goutte de milieu de culture stérile puis ensuite étalé sur toute la surface de la gélose. Ce même processus fut répété jusqu'à l'obtention de géloses renfermant une seule espèce d'algue.

L'étape suivante fut le transfert des espèces désirées et précédemment isolées du milieu solide au milieu liquide. Il fut effectué au

moyen d'un pic stérile. Une ou plusieurs colonies furent prélevées sur la surface des géloses et déposées dans des tubes à essai 18 x 150 mm renfermant quelques ml de milieu de culture liquide. Les tubes furent bouchés à l'aide de bouchons de caoutchouc mousse Dispo; ceux-ci étant assez perméables pour permettre l'échange des gaz ( $O_2$  et  $CO_2$ ) à l'intérieur des tubes. Ils furent placés sous un éclairage fluorescent identique à celui déjà utilisé pour les algues. Ils furent agités manuellement plusieurs fois par jour afin d'éviter la sédimentation et d'aérer le milieu. Après une période variant de 3 à 6 semaines, les espèces ainsi transférées avaient crû et l'on pouvait ensuite procéder à l'identification de celles-ci.

#### C- Identification

La première souche algale, du genre Scenedesmus (Appendice A), appartient à l'espèce spinosus Chodat 1913. L'identification a été confiée au professeur Jules Brunel du département des sciences biologiques de l'université de Montréal. Celui-ci a utilisé la monographie d'Uherkovich (1966), comme clé d'identification. Nous n'avons pu résoudre ce problème d'identification, même après consultation des monographies de Smith (1916) et Chodat (1926). Les difficultés résultent du fait que cette même souche a été acclimatée et cultivée à différentes températures. Ceci a entraîné des variations de taille, ce qui rend ce critère difficilement utilisable pour l'identification. Cette algue semble également présenter des variations morphologiques au sein d'une même culture maintenue sous conditions stables. Ces variations ne se situent

pas au niveau des formes des coenobes, mais plutôt au niveau du nombre d'épines sur chacun de ceux-ci. Le coenobe à quatre cellules (Appendice A) présente un nombre total maximum de 10 épines, réparties de cette façon: 3 sur chaque cellule terminale et 2 sur chaque cellule médiane. Ce nombre peut passer à 9, 8, 7 ou 6, selon qu'une ou plusieurs épines manquent sur une ou plusieurs des cellules médianes. Cette variabilité du nombre d'épines serait en partie rattachable à la turbulence régnant au sein des fioles de culture; si tel est le cas, la forme de coenobe à 10 épines serait la forme normale, les autres formes apparaissant suite à la perte des épines médianes. Malgré ceci, nous n'avions pu identifier cette forme de façon certaine après consultation des diverses clés (Chodat, op. cit.; Fritsch; Prescott, 1962; Smith, op. cit.).

La variabilité morphologique observée peut également être un caractère propre à l'espèce même. Un tel phénomène est souvent relevé (Trainor, 1964a, 1965), de même qu'un caractère pléomorphique pour plusieurs espèces du genre Scenedesmus (Chodat, 1926; Trainor, 1963, 1964a, 1964b; Trainor & Hilton, 1963). Cette propriété des espèces de passer de la forme d'un genre à celle d'un autre genre rend l'identification très délicate.

Smith (op. cit.) ne fait pas mention de ce caractère pléomorphique en culture pure. Selon lui, les caractéristiques de forme, taille, position et nombre d'épines permettent une identification facile et avec un certain niveau de confiance. Chodat (op. cit.) signale la grande variabilité de forme de certaines espèces, phénomène admis depuis lors et

vérifié par nombre d'autres auteurs. Trainor & Hilton (op. cit.) avancent que ce même caractère pléomorphique n'existe pas qu'en culture, mais pourrait également exister en nature. Si tel est le cas, la classification traditionnelle basée sur les critères énoncés par Smith (op. cit.) serait sujette à révision.

Pringsheim (1949) constate que l'ampleur du phénomène de la variabilité n'a pas encore été déterminée et que seulement des études en cultures pures peuvent résoudre ce problème. Chodat (op. cit.) affirme également que l'on doit mettre en culture afin de déterminer correctement la position taxonomique d'une espèce algale, avis également partagé par Trainor & Hilton (op. cit.).

La seconde souche algale, du genre Pediastrum (Appendice B), a été identifiée comme appartenant à l'espèce boryanum (Turp.) Menegh. Nous avons utilisé la clé d'identification de Prescott (op. cit.). Cette espèce a été rapportée à plusieurs reprises dans les eaux du fleuve Saint-Laurent (Ahmad, 1976; Contant, 1977; Vaillancourt et al., 1971).

#### D- Critères de choix

Trois principaux critères nous ont guidé dans le choix des espèces phytoplanctoniques à retenir: la disponibilité au moment de la récolte, une certaine représentativité du milieu de provenance et enfin, certaines facilités de mise en culture.

Au moment de la prise des échantillons, le groupe d'algues prédominant était celui des algues vertes. Nous avons donc retenu ce groupe particulier, celui-ci nous laissant un choix assez vaste quant aux

formes et aux espèces représentées.

De plus, le groupe des algues vertes est le plus important en période estivale (Ahmad, 1976), et donc en période de forte production primaire. C'est aussi en cette saison que l'eau du fleuve atteint les températures les plus élevées de l'année et que les conséquences d'un réchauffement additionnel sont les plus susceptibles de se faire sentir.

Les conditions les plus essentielles considérées quant à la facilité de mise en culture furent les suivantes: (1) espèces holoplanktoniques de taille assez uniforme et ne formant pas d'agglomérats; donc de distribution uniforme, (2) espèces ne colonisant pas les parois des contenants de culture, (3) espèces réputées faciles à cultiver et pouvant croître dans un milieu de culture minéral assez simple de préparation et sans besoin d'addition de composés organiques.

Notre choix s'est arrêté sur deux formes assez voisines (même groupe et même famille) soit les genres Scenedesmus et Pediastrum. Ce sont deux chlorophycées de type colonial bien représentées en milieu naturel, de plus l'étroite parenté les rapprochant devait nous permettre de comparer leur comportement respectif.

## 2- Les conditions de culture

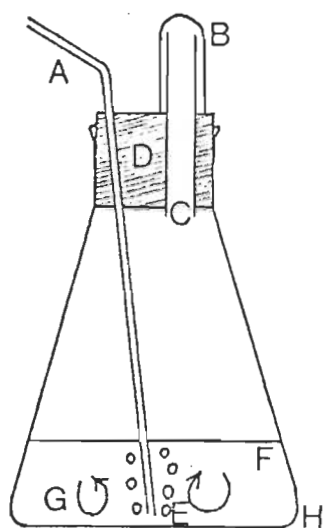
### A- La fiole de culture

Chaque module de culture était constitué d'une fiole conique Pyrex 250 ml série No 4980 fermée à l'aide d'un bouchon de caoutchouc noir no 6. Ce bouchon comportait deux ouvertures servant d'une part à l'aération et l'agitation et d'autre part à l'inoculation, l'échantillonnage et la sortie des gaz (Figure 1.A).

La première ouverture de 13 mm renfermait un tube cylindrique en verre d'égale diamètre ouvert à ses deux extrémités et dépassant d'environ 3 à 4 cm le dessus du bouchon. Cette ouverture était fermée par un tube à essai renversé de 15 mm de diamètre et mesurant 4 à 5 cm environ de longueur. La conception de cette ouverture permettait le passage de l'air sans aucune résistance et maintenait un champ stérile au point d'inoculation et d'échantillonnage. Elle empêchait de plus la contamination des cultures, possible par la présence de spores présentes dans l'air ambiant.

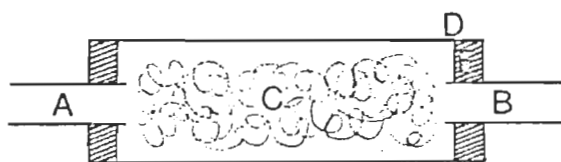
La seconde ouverture mesurait 4 mm de diamètre et renfermait un tube de verre creux d'égale diamètre. Celui-ci se prolongeait jusqu'au fond et était dirigé au centre de la fiole de culture. Par cette ouverture pénétrait un courant d'air stérile servant à agiter et aérer les cultures.

Le volume utile de chacune de ces fioles de culture, volume uti-



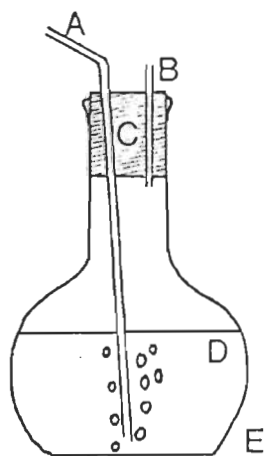
- A Tube de verre servant à l'aération
- B Fermeture du tube d'échantillonnage
- C Ouverture d'échantillonnage
- D Bouchon de caoutchouc
- E Point d'arrivée du courant d'air
- F Niveau de culture (125 ml)
- G Courant de brassage obtenu
- H Fiole conique (250 ml)

Ⓐ Fiole de culture



- A Tube d'entrée d'air
- B Tube de sortie d'air
- C Coton hydrophobe
- D Tube latex extérieur
- E Tube de diamètre intermédiaire

Ⓑ Filtre à air



- A Tube d'entrée d'air
- B Tube de sortie d'air
- C Bouchon de caoutchouc
- D Niveau d'eau distillée (200 ml)
- E Ballon (300 ml)

Ⓒ Ballon humidificateur

Figure 1.- Description des éléments du module de culture



lisé tout au long des expériences, fut de 125 ml.

#### B- Le système d'aération-agitation

L'arrivée d'un flot d'air continu dans chaque fiole de culture assurait le renouvellement des gaz essentiels ( $O_2$  et  $CO_2$ ) et le maintien des cultures en suspension. L'air était forcé à l'aide de pompes d'aquarium commerciales de type Hagen modèle 802, dont le débit était contrôlé à l'aide d'une valve plastique Hagen placée à chaque sortie. Chacune des valves était calibrée pour débiter un volume constant d'environ 1200 cc/minute. Ce flot d'air était ensuite divisé en deux parties avant l'arrivée aux fioles de culture; chacune d'elles recevait donc un volume d'environ 600 cc/minute. Le flot était orienté vers le centre du fond, créant un courant continu au sein des cultures et servant les fins décrites précédemment.

En plus de ce dispositif, les fioles de culture étaient brassées manuellement deux fois par jour d'un mouvement rotatif vigoureux afin de remettre toute la culture en suspension, des dépôts ayant pu s'être formés dans les cultures plus âgées et plus denses.

#### C- Le système de filtration

Le flot d'air arrivant au sein des cultures était filtré au moyen d'un filtre stérile renfermant de la ouate de coton hydrophobe. Celui-ci était constitué d'un tube de latex ambre de 6 mm de diamètre intérieur et d'environ 15 cm de longueur. Ce tube était rempli de coton et fermé à ses deux extrémités à l'aide d'un segment de tube de diamètre plus pe-

tit. De ce tube intermédiaire sortait un tube de verre de 4 mm de diamètre servant d'entrée et de sortie d'air (Figure 1.B).

#### D- Le système d'humidification

Le flot d'air filtré était ensuite humidifié afin de compenser les pertes par évaporation survenant dans les fioles de culture et de maintenir constant le volume de culture utile. L'air était dirigé au fond d'un ballon renfermant de l'eau distillée stérile et se chargeait de vapeur d'eau en barbotant à travers cette colonne d'eau.

Le ballon humidificateur était constitué d'un ballon Kimax de 300 ml fermé par un bouchon de caoutchouc noir No 5½ percé de deux orifices de 4 mm de diamètre (Figure 1.C). L'arrivée d'air se faisait par un tube de verre d'égale diamètre se prolongeant jusqu'au fond centre du ballon humidificateur. La sortie se faisait par un tube identique traversant le bouchon et dépassant 4-5 cm au-dessus de celui-ci.

Les principales caractéristiques de l'humidificateur, c'est-à-dire la forme du contenant, le volume d'eau distillée qu'il devait contenir ainsi que sa température de maintien, furent déterminées après essais effectués sur diverses combinaisons possibles. La combinaison retenue fut celle utilisant un ballon de 300 ml renfermant un volume de 200 ml d'eau distillée tenu à la même température que les fioles de culture auxquelles il était couplé. Le tableau I illustre les variations de volume enregistrées dans les fioles de culture après divers temps de fonctionnement du système humidificateur. Chacune des valeurs représente

TABLEAU 1

Volumes d'eau(ml) restant dans les fioles de culture après  
essai du système aérateur-humidificateur

Temps (heures)	Température (°C)				
	20 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>	35 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup>
16	123,5	123,5	125,5	125,5	128,0
24	124,5	123,5	123,3	125,5	122,0
36	124,8	124,0	124,5	125,3	124,5
48	124,0	126,5	124,5	124,0	124,5
72	125,0	129,3	122,0	123,0	124,3

la moyenne des volumes d'eau distillée restant dans chacune des deux fioles de culture reliées au même ballon. Le volume initial renfermé dans ces fioles était de 125 ml. En ce qui concerne les périodes d'essai de plus de 24 heures, le volume d'eau distillée dans les ballons fut réajusté périodiquement une fois par jour. Cette démarche fut également suivie lors de la détermination des taux de croissance qui s'étalait sur une période de plusieurs (5) jours. Nous avons vérifié la signification des variations de volume enregistrées au moyen d'un test de "t" entre une moyenne et une constante. Les résultats (Tableau I) nous ont permis de conclure qu'il n'y avait pas eu de variation significative des valeurs observées quant à la valeur au départ. Nous avons donc adopté le système décrit ci-haut pour toutes les températures y compris pour 10°C, 15°C et 27°C où de tels essais ne furent pas effectués. L'évaporation étant beaucoup moindre à 10°C et 15°C qu'aux températures d'essai, le risque d'erreur restait encore moindre et le système pouvait être adopté tel quel. La constante de ce système humidificateur se dégageait de façon assez évidente; un même courant d'air traversant deux colonnes de liquide de hauteur sensiblement égale et maintenues à une même température véhiculait la même quantité de vapeur. La hauteur de la colonne d'eau dans chaque ballon correspondait en effet à la somme de celles des deux fioles couplées à celui-ci.

#### E- Le système d'éclairage

L'éclairage utilisé fut réalisé à l'aide de tubes fluorescents

de type Cool-White Westinghouse FT 20 T 12/CW. Ces tubes, au nombre de deux par bain thermostaté, étaient disposés de chaque côté de celui-ci assurant une illumination bilatérale des fioles de culture (Figure 2), chaque fiole, étant disposée à égale distance de sa voisine et à distance égale des tubes, recevait le même éclairage que toutes ses semblables.

L'intensité choisie fut repérée à l'aide de la distance séparant les tubes; celle-ci fut de 43 cm (17 po.), et fut maintenue telle tout au long des travaux. Elle fut choisie et déterminée après quelques simples essais effectués sur une même culture élevée dans les conditions déjà décrites, à la température de la pièce et à diverses intensités. Le taux de croissance spécifique le plus élevé (Tableau 2) nous guida dans le choix de l'intensité à maintenir pour les cultures.

L'éclairage fut continu tout au long des travaux. De plus, l'éclairage de la pièce, du même type que celui utilisé pour les expériences, fut aussi maintenu de façon continue et les fenêtres voilées afin d'éviter des variations importantes d'intensité lumineuse.

La valeur absolue de cet éclairage fut déterminée à l'aide des indications fournies par Klein & Klein (1970). Selon eux, avec des sources lumineuses larges comme c'est le plus souvent le cas (tubes fluorescents), l'intensité lumineuse varie directement avec la distance, i.e. une augmentation de la distance plante-source de 2 diminue l'intensité lumineuse à  $\frac{1}{2}$  de sa valeur initiale. L'intensité fut ainsi estimée

TABLEAU 2

Influence de l'intensité d'éclairement sur le  
taux de croissance spécifique ( $k'$ )

Distance (cm)	28 (13 po)	43 (17 po)	53 (19 po)
$k'$	0,180	0,187	0,163

à environ 130 pieds-chandelles (foot-candles), à la surface des fioles de culture. Cette mesure peut ensuite être convertie en valeurs absolues en utilisant le facteur de conversion proposé par Klein et Klein (op. cit.). La conversion est fonction du type d'éclairage utilisé. Pour un éclairage fluorescent de type Cool-White, un pied-chandelle équivaut à  $3,28 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Les cultures ont donc été incubées sous une illumination d'environ  $426,4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Cette mesure ne constitue qu'une approximation; la valeur réelle sera vérifiée avec un photomètre adéquat.

#### F- Le système de contrôle de la température

La température fut maintenue constante en utilisant des bacs de verre identiques d'une contenance de 91 litres (20 gallons) et de dimensions 60 cm de longueur, 30 cm de largeur et hauteur (24 po. x 12 po. x 12 po.). Ces bacs furent équipés de pompes circulantes à contrôle thermostatique réglable. L'eau circulant continuellement dans ceux-ci empêchait la formation de couches et assurait l'uniformité de la température dans tout le bac.

Les basses températures ( $10^{\circ}$  et  $15^{\circ}\text{C}$ ) ont requis l'utilisation de pompes refroidissantes de type Jewel aqua-chiller no 365. Les températures élevées ( $25^{\circ}$ ,  $27^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ) ont nécessité l'utilisation de pompes chauffantes de type Haake modèle E 52. Une pompe mixte de type MGW Lauda modèle K2R fut utilisée pour maintenir la température intermédiaire de  $20^{\circ}\text{C}$ .

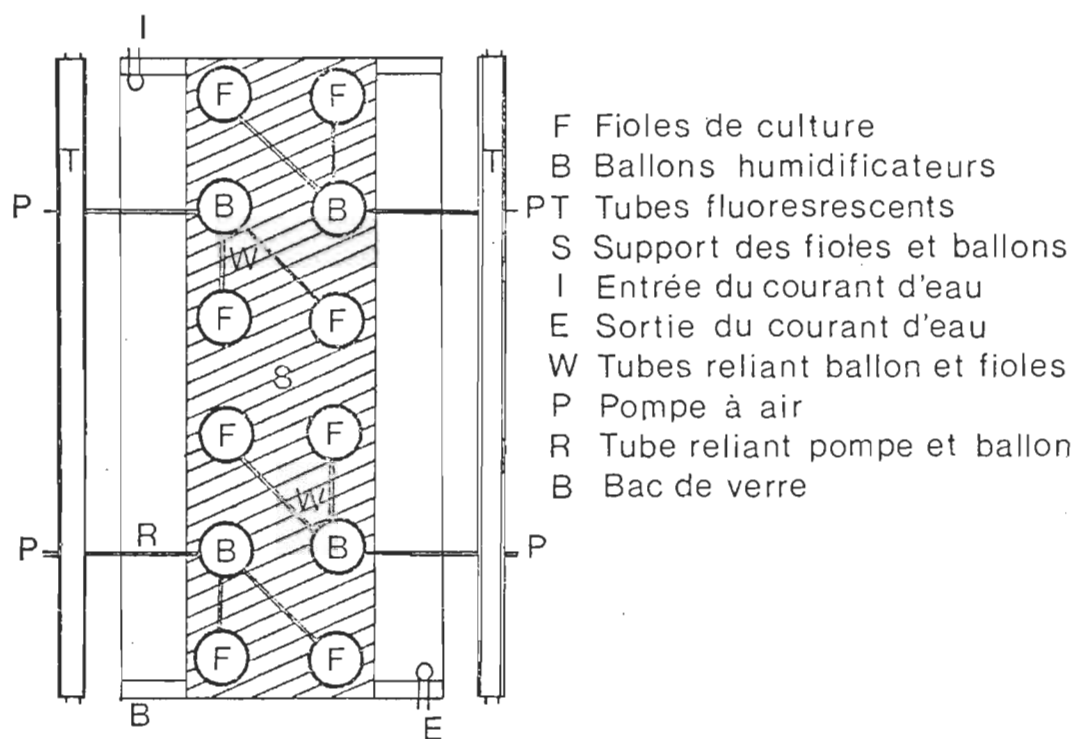
La précision minimum maintenue au cours des travaux fut de  $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$  avec les appareils de contrôle utilisés à  $10^{\circ}$  et  $15^{\circ}\text{C}$ . Cette marge fut déterminée et vérifiée à l'aide d'un thermomètre à enregistrement graphique continu Taylor modèle 76 J muni d'un papier graphique OP1203. La période d'essai fut de sept jours pour chacun de ces appareils. Ce degré fut dépassé aux autres températures ( $20^{\circ}\text{C}$  et plus) selon le type d'appareil utilisé. Il fut de  $0,01$  à  $0,03^{\circ}\text{C}$  à  $20^{\circ}\text{C}$  et de  $0,01^{\circ}\text{C}$  aux températures supérieures, tel que réclamé par les fabricants de chaque appareil.

Les bacs furent remplis d'eau du robinet comme agent conducteur de chaleur. Elle fut constamment filtrée sur des filtres d'aquarium commerciaux constitués d'une partie de charbon de bois et d'une autre partie de laine de verre, afin de lui conserver le plus possible sa transparence. Avant chaque série de traitements, les bacs étaient vidés, lavés, et l'eau renouvelée. Ce processus fut répété au besoin à chaque fois que l'eau d'un des bacs commençait à manifester des signes de turbidité quelconques décelables à vue.

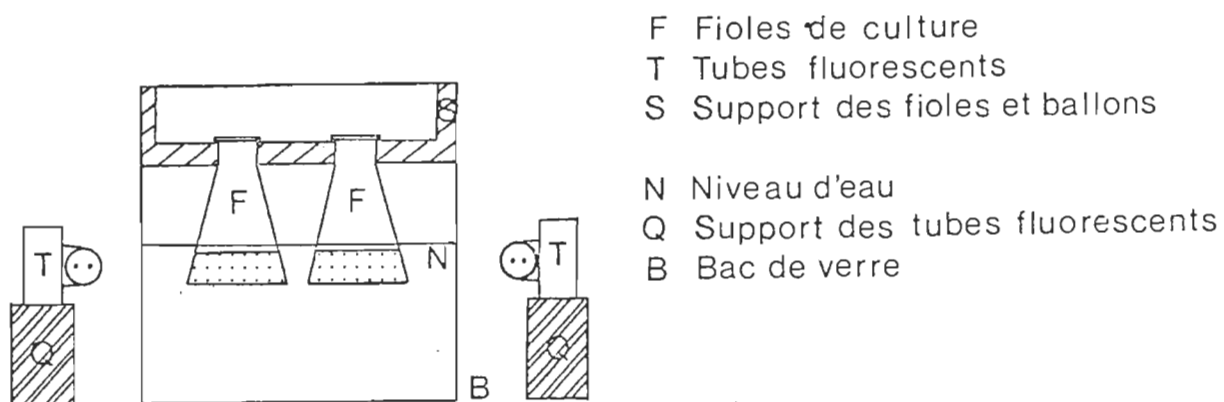
#### G- L'assemblage des éléments du module de culture

Les fioles de culture étaient disposées dans les bacs en deux rangées parallèles: une de chaque côté de l'axe longitudinal de celui-ci. Chaque rangée comprenait six places, comptait quatre fioles de culture et deux ballons humidificateurs disposés en alternance au sein d'une même rangée (Figure 2.) Ballons et fioles étaient maintenus en place à





Vue de dessus



Vue de face

Figure 2.- Description du module de culture

l'aide d'un support de bois comportant douze ouvertures placées à 10 cm de distance d'une rangée à l'autre et au sein d'une même rangée. Les éléments de chaque module de culture étaient reliés entre eux au moyen de tube latex ambre souple en ce qui concerne le ballon humidificateur et les fioles de culture, et au moyen de tube Tygon en ce qui concerne la pompe à air, le filtre à air et le ballon humidificateur. Ces deux types de tubes étant autoclavables, nous pouvions stériliser les modules partiellement assemblés.

#### H- Le milieu de culture

Le milieu de culture choisi fut le Bold's basal medium (Nichols & Bold, 1965). Ce milieu avait déjà été utilisé avec succès pour la culture d'algues vertes et était recommandé par Behringer (1973) pour les deux espèces avec lesquelles nous allions expérimenter. Les composantes de ce milieu ainsi que leurs concentrations relatives sont décrites au tableau 3. Il fut préparé avec de l'eau bidistillée sur verre et désionisée. Les réactifs étaient tous de grade "Baker analysed reagent". Le pH fut ajusté à 6,8 à l'aide d'un pH-mètre Fisher Accumet modèle 230; celui-ci est resté inchangé après autoclavage.

#### I- Les conditions de travail

Tous les contenants utilisés pour la préparation du milieu de culture ainsi que pour la culture elle-même étaient de verre borosilicaté tel que recommandé (Bold, 1942; Johansen, 1940; Pringsheim, 1964; Stein, 1973), sauf les contenants servant à l'autoclavage du milieu de

TABLEAU 3

Caractéristiques du milieu de culture Bold's basal  
(aussi appelé Bristol's solution)

Solution n°	Substance	Mode de préparation	Concentration relative
1	$\text{NaNO}_3$	10 g/400 ml	2,94 m M/l
2	$\text{CaCl}_2$	1 g/400 ml	0,17 m M/l
3	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3 g/400 ml	0,30 m M/l
4	$\text{K}_2\text{HPO}_4$	3 g/400 ml	0,43 m M/l
5	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	7 g/400 ml	1,29 m M/l
6	$\text{NaCl}$	1 g/400 ml	0,43 m M/l
7	EDTA	50 g/l	171,09 $\mu$ M/l
	KOH	31 g/l	553 $\mu$ M/l
8	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4,98 g/l	17,9 $\mu$ M/l
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	1,0 g/l	-----
9	$\text{H}_3\text{BO}_3$	11,42 g/l	184,7 $\mu$ M/l
	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	8,82 g/l	30,7 $\mu$ M/l
	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,44 g/l	7,3 $\mu$ M/l
10	$\text{MoO}_3$	0,71 g/l	4,9 $\mu$ M/l
	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1,57 g/l	62,9 $\mu$ M/l
	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,49 g/l	16,8 $\mu$ M/l

Pour chaque litre de milieu, utiliser 10 ml de chacune des solutions de macronutriments (1 à 6), 1 ml de chacune des solutions de constituants mineurs (7 à 9) et 1 ml de la solution de micronutriments (10). Ajuster le pH avec  $\text{HCl}$  ou  $\text{NaOH}$ .  
(d'après Stein, 1973)

culture et de l'eau distillée qui étaient de plastique Nalgene.

Le mode de lavage de la verrerie fut le suivant: rinçage à l'eau du robinet, trempage dans une solution d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) saturé de nitrate de sodium ( $NaNO_3$ ), (Stein, op. cit.), nettoyage mécanique à l'aide d'une brosse, trempage dans l'eau du robinet et triple rinçage à l'eau bidistillée et désionisée avant usage.

Tous les éléments du module de culture ( fioles, ballons, filtres et tubes ) furent autoclavés et assemblés de façon aseptique. Le milieu de culture, l'eau distillée servant à l'humidification ainsi que les pipettes servant aux repiquages et à l'échantillonnage subirent le même traitement. Les travaux courants d'échantillonnage, de repiquage et de maintien général furent effectués à proximité d'une flamme provenant de brûleurs à alcool.

Des tests visant à déceler toute possibilité de contamination furent effectués régulièrement à chaque semaine et avant chaque traitement. Ces tests visaient à repérer la présence d'autres espèces d'algues, de protozoaires ainsi que de champignons au sein des cultures. Ils furent réalisés au microscope optique aux grossissements 100x et 450x sur une goutte de la culture étalée sur lame. Les cultures furent maintenues en double, afin d'éviter les retards et les inconvénients dus à une contamination quelconque d'une des fioles de culture.

Remarque:

L'ensemble des précautions décrites visait à maintenir les cul-

tures en état de "semi-asepsie". Nous n'avons pu éliminer les bactéries des cultures malgré divers essais effectués (agents chimiques, centrifugation, antibiotiques, rayons ultra-violets...), celles-ci ont été présentes au sein des deux cultures. Il aurait aussi été quasi impossible de garder des cultures d'algues aseptiques avec le nombre de manipulations que nous avions à effectuer et les facilités dont nous disposions. De plus la pauvreté du milieu de culture (inorganique) constituait une barrière infranchissable pour la majorité des bactéries; celles ayant réussi à subsister montraient une coexistence possible et sans compétition apparente (probablement symbiontes des algues).

#### J- Le maintien des culture

Toutes les cultures furent maintenues en double. Elles furent gardées en constant état de croissance active au moyen de repiquages effectués à intervalles réguliers. La durée des intervalles entre les repiquages variait selon l'espèce considérée et la température de référence à laquelle elle était maintenue. De façon générale, les basses températures nécessitaient des repiquages moins fréquents que les températures plus élevées. La fréquence de ceux-ci variait en général de cinq à dix jours.

Le moment des repiquages était fonction de la densité des cultures, estimée à vue d'après la couleur et la présence de dépôts au fond des fioles de culture. Une cinétique préalablement établie permettait d'éviter une phase d'attente (densité trop faible) ainsi qu'une

phase de déclin (densité trop élevée).

Les repiquages furent effectués en prélevant un échantillon de la culture stock à l'aide d'une pipette et en le transférant dans une autre fiole de culture renfermant du milieu de culture frais. L'ordre de grandeur des dilutions ainsi faites se situait entre 1:5 et 1:10, de façon générale, soit entre 10 et 25 ml d'inoculum par 125 ml de volume total.

### 3- La mise en marche des traitements

#### A- Conditions préalables

Chaque espèce traitée fut d'abord acclimatée ou pré-conditionnée à diverses températures de référence ( $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ ). L'acclimatation consistait en une période de culture de trois semaines ou plus aux températures choisies, et sous les conditions déjà décrites. Ceci était suffisant pour permettre aux espèces choisies et devant subir des traitements de compléter plusieurs cycles ontogéniques complets et de s'ajuster à la température voulue. Ces cultures furent appelées cultures stocks.

Chaque culture stock ayant à subir un traitement fut diluée avec du milieu de culture frais 48 heures avant de procéder à celui-ci. Cette dilution était de l'ordre de 1:2 à 1:3 généralement, ramenant les cultures à des densités variant entre 0,15 et 0,25 unités de densité optique environ, (voir section 1, article 5.B). Cette opération avait pour but d'uniformiser le plus possible les cultures stocks servant d'inoculum à chaque traitement. De cette façon la culture se trouvait assurément en état de croissance active au moment de son utilisation.

Chaque culture stock devait servir à effectuer plusieurs traitements de durées différentes à la fois ainsi qu'au maintien d'une culture témoin. Les cultures furent divisées simultanément afin d'éviter des variations possibles au sein de la culture stock durant le temps que duraient les traitements les plus longs.

## B- Description des traitements

Les traitements ont été conçus selon deux hypothèses de travail: -une augmentation de température et son maintien par la suite, reflétant le cas d'un fonctionnement continu d'une centrale nucléaire, -une élévation de température suivie d'un retour à la normale, reflétant un fonctionnement sporadique de cette centrale. Ces deux types de variations de température furent provoqués de deux façons, soit instantanée, soit graduelle. Dans le premier cas, le traité était porté directement d'une certaine température de référence (T0) à une autre température de traitement (T10) sans intervalle de temps. Dans le second cas, le traité était porté de T0 à T10 en passant par une température intermédiaire (T5). La durée du maintien à ces températures (T5 et T10) fut de trois heures (A), six heures (B) ou douze heures (C). Le retour s'effectuait de la même façon. Le tableau 4 montre une description des divers traitements effectués ainsi que la nomenclature qui leur fut rattachée.

## C- Mode d'opération des traitements

Chaque traitement s'est effectué après que la culture stock fut divisée dans des fioles de culture séparées et marquées au type de traitement à suivre. Chaque fiole fut transposée manuellement d'un bac à un autre bac voisin de température différente et y fut maintenue durant les périodes de temps voulues. Les autres conditions expérimentales restèrent inchangées tout au long des traitements.



TABLEAU 4

Identification et description des traitements effectués

	Nom	Description du traitement
Hypothèse 1	11	$T0 \longrightarrow T10$
	12 A	$T0 \longrightarrow T5(3h) \longrightarrow T10$
	12 B	$T0 \longrightarrow T5(6h) \longrightarrow T10$
	12 C	$T0 \longrightarrow T5(12h) \longrightarrow T10$
Hypothèse 2	1 A	$T0 \longrightarrow T10(3h) \longrightarrow T0$
	1 B	$T0 \longrightarrow T10(6h) \longrightarrow T0$
	1 C	$T0 \longrightarrow T10(12h) \longrightarrow T0$
	2 A	$T0 \longrightarrow T5(3h) \longrightarrow T10(3h) \longrightarrow T5(3h) \longrightarrow T0$
	2 B	$T0 \longrightarrow T5(6h) \longrightarrow T10(6h) \longrightarrow T5(6h) \longrightarrow T0$
	2 C	$T0 \longrightarrow T5(12h) \longrightarrow T10(12h) \longrightarrow T5(12h) \longrightarrow T0$

#### D- Mise en marche des cultures traitées

Immédiatement à la fin des divers traitements, un échantillon fut prélevé dans chacune des fioles traitées et sa densité optique déterminée. Le rapport existant alors entre cette densité observée et celle à atteindre au départ dans les fioles de culture traitées, déterminait le facteur de dilution à utiliser lors de l'inoculation de celles-ci. L'inoculum fut ensuite transféré dans ces fioles déjà marquées et acclimatées contenant du milieu de culture frais pour un volume total de 125 ml. Le temps zéro fut alors fixé et la densité optique réelle au point de départ déterminée. Les lectures de densité optique furent ensuite répétées à intervalles réguliers de vingt-quatre heures afin de suivre la croissance des cultures traitées. La même procédure fut adoptée pour la mise en marche des cultures témoins.

Les densités optiques de départ furent fixées à 0,050 D.O. dans le cas de Scenedesmus ( $0,47 \times 10^6$  coenobes/ml), et à 0,035 D.O. dans le cas de Pediastrum ( $0,35 \times 10^5$  coenobes/ml). Les limites réelles varièrent entre 0,037 et 0,061 D.O. pour la première et entre 0,024 et 0,046 D.O. pour la seconde.

Chaque culture témoin ainsi que les cultures traitées s'y raccordant furent préparées en deux replicats et suivies en double par la suite. La période de surveillance fut d'environ une quinzaine de jours, soit jusqu'à la fin de toute croissance, sous les conditions expérimentales régulières précédemment décrites.

#### 4- L'échantillonnage et les mesures

##### A- Théorie de la néphélémétrie

Une suspension suffisamment concentrée pour interférer substantiellement avec la transmission de la lumière peut être dosée (en termes de concentration) en dirigeant un faisceau de lumière à travers celle-ci et en mesurant la quantité de lumière arrêtée par épaisseur d'échantillon. Il est démontré que si un rayon continu de lumière est dirigé à travers une suspension de particules fines dans un liquide, la quantité de lumière réfléchie par les particules sera en relation directe avec la concentration de ces particules.

La linéarité de cette relation tient tant que la concentration de l'échantillon ne devient pas trop grande pour que les particules commencent à interférer avec la lumière qu'elles réfléchissent. De plus, cette même linéarité de la relation entre la concentration des particules et la lumière Tyndall présuppose une taille uniforme des particules et leur distribution uniforme dans la suspension, ainsi qu'une vitesse de déposition lente. Ces conditions remplies, on peut s'attendre à des résultats reproductibles sur de grandes échelles de concentration.

##### B- L'appareil de mesure néphélémétrique

L'instrument utilisé pour les mesures de densité optique fut un appareil Coleman nepho-colorimeter modèle no 9 équipé de cuvettes circulaires spéciales Coleman 19x100mm. Cet appareil donne la mesure de la proportion de lumière incidente arrêtée par unité de profondeur.

Les mesures se font en comparant la transmittance de la suspension avec celle d'une même quantité de liquide exempt de particules en suspension. Les résultats sont exprimés en termes d'absorbance et sont reliés aux concentrations au moyen d'une courbe de calibration faite à partir de suspensions similaires de concentrations connues (Brochure Coleman, 1975).

#### C- Critique de la méthode

Les deux avantages majeurs de cette méthode de mesure, en plus de sa précision, sont sa rapidité et sa facilité d'exécution.

En conditions soutenues (steady-state) et durant la phase de croissance exponentielle d'une culture (batch culture), la densité optique est une mesure généralement fiable de la quantité de cellules (Myers, 1953). Certaines concessions sont faites au départ, à savoir que ce qui est mesuré peut être affecté par des variations de taille et de forme. Ceci limite la valeur de la méthode de mesure à une phase du cycle seulement et sous des conditions stables, donc en même état physiologique. Ces variations sont alors considérées comme négligeables et la proportionnalité D.O. vs C reste constante (Lund & Talling, 1957; Kratz & Myers, 1955; Sorokin & Krauss, 1958; Hoogenhout & Amez, 1965).

Cette méthode de mesure utilisant la néphélémétrie a permis d'établir une relation linéaire entre la D.O. et le poids sec (Krebs et al., 1942) au cours d'études antérieures. De plus, Sorokin & Myers (1953) considèrent que cette méthode est adaptée aux études des effets de la température, sujet constituant l'objet de la présente étude.

#### D- Mode d'échantillonnage

L'étude des taux de croissance des cultures fut réalisée à partir d'un échantillonnage régulier se faisant en deux étapes. La première série d'échantillons fut prise aux temps 0, 1, 2, 3, 4, 5 jours afin de déterminer le taux de croissance spécifique de la culture en réponse aux divers traitements subis. La seconde série couvrit les temps variant entre 9 et 17 jours selon l'espèce et servit à déterminer la densité maximale atteinte par chaque culture traitée ou témoin.

Les fioles de culture furent d'abord agitées d'un mouvement circulaire vif afin de remettre toute la culture en suspension, des dépôts ayant pu s'être formés dans les cultures les plus âgées. Un volume de 2,5 ml fut ensuite prélevé dans chacune d'elles à l'aide d'une pipette et sa densité optique déterminée.

Les prises de lecture des densités optiques furent faites sur le matériel frais, immédiatement après échantillonnage. Le délai maximum entre le premier échantillonnage et la dernière prise de lecture ne dépassait normalement pas trente minutes. Les tubes furent préparés avec 5 ml d'eau distillée et 5 ml d'échantillon par traitement, pour un volume total de 10 ml par tube, volume minimal recommandé pour l'appareil utilisé. Les 5 ml d'échantillon résultaient du mélange des 2 prélèvements (2,5 ml chacun) effectués chacun sur un replicat du même traitement. Chaque tube fut lentement renversé trois fois, essuyé, introduit dans l'appareil et la lecture de sa densité optique enregistrée. L'appareil fut ajusté à zéro entre chaque tube en utilisant un volume

égal (10 ml) d'eau distillée. Cet appareil était branché pendant une période minimale de trente minutes avant son utilisation.

## 5- Le traitement des données

### A- Données de croissance

#### a) Théorie de la croissance en cultures

Sous des conditions de culture adéquates, i.e. avec apport suffisant d'oxygène ( $O_2$ ), de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), de sels nutritifs, sous une température et une illumination appropriées, pour une forme de contenant de culture spécifique de volume limité, ainsi que sans renouvellement du milieu de culture, l'augmentation du nombre de cellules dans une culture (batch culture) suit un patron caractéristique tel que représenté sur la figure 3. Cette courbe de croissance comprend cinq (5) phases distinctes:

1) Une phase d'attente (lag phase) au cours de laquelle aucune augmentation du nombre de cellules n'est apparente. Cette attente s'explique généralement par l'utilisation d'un inoculum trop faible ou trop vieux, donc de faible viabilité. La culture ne peut repartir avant d'avoir pris le temps de se donner une progéniture plus viable.

2) Une phase exponentielle (exponential phase) dans laquelle la multiplication est rapide et où le nombre de cellules augmente de façon géométrique; le nombre doublant durant un intervalle de temps fixe. Le taux de croissance est donc constant durant cette phase.

3) Une phase de déclin (declining phase) dans laquelle le rythme de croissance se ralentit avec le temps. L'augmentation du nombre de cellules est constante d'où son autre appellation de phase linéaire (linear phase). Ce déclin s'explique soit par auto-inhibition ou relâ-

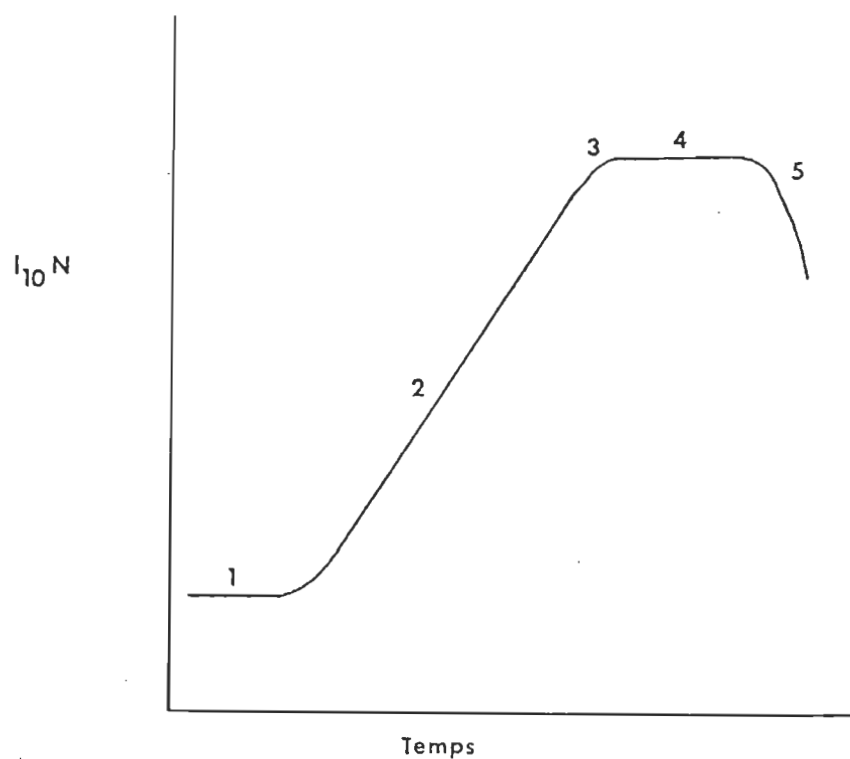


Figure 3.- Cinétique normale de croissance d'une culture algale  
(d'après Fogg, 1975)

- 1- Phase de latence
- 2- Phase de croissance exponentielle
- 3- Phase de déclin
- 4- Phase stationnaire
- 5- Phase de mort



chement de toxines dans le milieu, par ombragement réciproque (self shading), ou par des variations de certaines composantes du milieu telles l'épuisement des nutriments ou la hausse du pH.

4) Une phase stationnaire (stationary phase), dans laquelle le nombre de cellules demeure plus ou moins constant selon l'équilibre métabolique de la culture. Le niveau de densité de cette phase peut être rattaché aux diverses conditions de culture, généralement à la concentration initiale des nutriments dans le milieu de culture utilisé.

5) Une phase de mort (death phase), au cours de laquelle le nombre de cellules diminue par la mort de celles-ci. Cette mort s'explique par un manque d'énergie nécessaire au maintien vital de la culture ou épuisement des ressources utilisables. Lund (1959) affirme que l'illumination en absence de certains nutriments peut entraîner la mort par bris de l'organisation cellulaire chez certaines espèces du genre Asterionella.

Ces différentes phases ne sont toutefois pas toujours aussi distinctes; quelquefois certaines peuvent se raccourcir ou se prolonger les rendant plus difficilement reconnaissables.

#### b) Le taux de croissance spécifique

La croissance d'algues peut s'exprimer, d'après Myers (1953) par la généralisation selon laquelle le taux d'augmentation de la population est facteur du nombre de cellules.

$$\frac{dN}{dt} = (f) N$$

Quand la population est maintenue dans des conditions environnementales stables, cette relation devient,

$$\frac{dN}{dt} = k N$$

qui sous forme intégrée donne

$$k t = \log \frac{N}{N_0}$$

d'où l'on peut isoler

$$k = \frac{\log \frac{N}{N_0}}{t}$$

où  $k$  = taux de croissance spécifique

$N$  = nombre de cellules au temps  $t$

$N_0$  = nombre de cellules au temps  $t_0$

$t$  = temps en jours

Pour une valeur de  $k = 0,301$ , le temps de génération (doubling time) est égal à 1 jour.

Nous avons adopté, pour notre étude, la formulation de Kratz & Myers (1955) utilisant les logarithmes de base 10 plutôt que les logarithmes naturels: l'équation définissant le taux de croissance spécifique devient:

$$k' = \frac{\log_{10} \frac{N}{N_0}}{t}$$

pour laquelle  $k' = \frac{k}{2,3025}$ , puisque  $\log_{10} e = 2,3025$

et sous sa forme simplifiée

$$k' = \log_{10} N - \log_{10} N_0$$

Cet indice ( $k'$ ) donne, selon Myers (op. cit.), une mesure intrinsèque du taux de métabolisme total conduisant à la synthèse des cellules. Il fournit ainsi une mesure utile de la croissance en réponse à un facteur tel la température.

Un autre avantage majeur de l'utilisation de l'indice  $k'$  comme mesure du taux de croissance est sa reproductibilité qui est facilement obtenue (Stein, 1973).

#### c) Calcul du taux de croissance spécifique

Le calcul des taux de croissance spécifique fut effectué par analyse de régression linéaire simple entre les  $\log_{10}$  des densités optiques prises aux temps 0, 1, 2, 3, 4 et 5 jours, et ces mesures de temps. Chaque valeur fut donc une résultante statistique des variations journalières de densité optique observées durant les cinq premiers jours consécutifs de croissance suite aux traitements subis. Cette période où l'échantillonnage fut effectué correspondait à la phase exponentielle de croissance telle que décrite précédemment (Figure 3). Durant cette phase une relation linéaire existe entre le temps et le logarithme du nombre de cellules (D.O.). Cette relation constante peut s'exprimer par la pente (b) de la droite; c'est donc cette pente qui fut calculée pour l'ensemble des cinq premiers jours de croissance. Calculée sur une base d'un jour la pente correspond au logarithme de la densité optique à ce jour 1

sur la densité optique au jour 0

$$b = \log_{10} \frac{D. O. 1.}{D. O. 0.}$$

ou sous forme simplifiée

$$b = \log_{10} D. O. 1 - \log_{10} D. O. 0.$$

Ayant établi la proportionnalité entre la densité optique et la concentration, ceci permettait d'utiliser la pente (b) comme taux de croissance spécifique (k').

#### B- Données de temps et de densité

##### a) Etablissement des courbes de calibration

Pour chacune des espèces étudiées, une courbe de calibration fut établie afin de relier la densité optique (D.O.) des cultures à leur concentration (C) en coenobes et en cellules. Nous avons procédé par analyse de corrélation et régression linéaire simple entre deux séries de mesures, soit la densité optique et la concentration établies sur une même série d'échantillons correspondant à différentes dilutions connues de la même culture.

Les lectures de densité optique furent prises de la façon habituelle décrite dans l'établissement des cinétiques de croissance. Un volume total de 10 ml a été utilisé dans chaque cas.

Le comptage du nombre de colonies fut effectué au microscope optique sur filtres quadrillés Millipore Hawg 02500, 0,45 $\mu$ . Chacun des tubes ayant servi à la prise des lectures de densité optique fut d'abord dilué d'un facteur inverse à son facteur de concentration, de façon à

donner un même nombre de colonies par filtre facilitant ainsi les décomptes. Un volume après dilution constant de 10 ml fut filtré et le filtre monté sur lame pour examen. Nous avons dénombré, dans le cas des deux espèces analysées, un minimum d'environ 1600 colonies par filtre, soit quatre carrés de 400 colonies chacun environ. Le degré de précision ainsi obtenu se situe à  $\pm 5\%$  selon Lund et al. (1958)

Nous avons ensuite vérifié l'uniformité de la distribution des colonies sur les filtres par un test de  $\chi^2$ . Les décomptes enregistrés sont illustrés dans le tableau 5. Les résultats se sont avérés positifs dans les deux cas. Les concentrations de colonies furent ensuite calculées selon les indications fournies par le fabricant (brochure Millipore, 1973).

Finalement les concentrations en termes de cellules furent déduites à l'aide d'un index du nombre de cellules par colonies, calculé à partir du dénombrement des cellules sur un total de 1000 colonies. Les résultats de ce dénombrement sont illustrés dans le tableau 6. Nous avons multiplié le nombre de colonies calculé par cet index dans chacun des deux cas. Cette façon de procéder est acceptable selon Lund et al. (op. cit.), le produit des erreurs des deux calculs étant généralement négligeable. L'appendice C illustre les valeurs de concentration obtenues pour chacune des espèces ainsi que les valeurs de densité optique correspondantes. L'analyse de corrélation et régression fut effectuée à partir de ces résultats. La figure 4 illustre de façon graphique les valeurs observées ainsi que les droites de régression calculées à partir

TABLEAU 5

Nombres de colonies par carré

A. Scenedesmus

Tube	1	2	3	4
0,5	465	403	392	420
1	423	373	394	390
2	479	463	465	431
3	382	368	355	451
4	473	445	453	434
5	375	361	413	380
6	381	413	393	448
7	407	414	420	404
8	489	457	456	442
9	394	386	380	409
10	363	428	390	448

B. Pediastrum

Tube	1	2	3	4
1	437	406	430	394
2	505	484	447	460
3	420	395	434	390
4	450	418	452	404
5	367	398	389	410
6	443	412	441	421
7	457	427	466	441
8	386	363	394	349
9	448	416	430	382
10	404	430	391	435

TABLEAU 6

Nombres moyens de cellules par coenobe

A. Scenedesmus


---

Coenobes à 2 cellules	606
Coenobes à 4 cellules	394
Total des coenobes	1 000
Moyenne des cellules par coenobe	2,788

---

B. Pediastrum


---

Coenobes à 16 cellules	522
Coenobes à 8 cellules	462
Coenobes à 4 cellules	16
Total des coenobes	1 000
Moyenne des cellules par coenobe	12,112

---

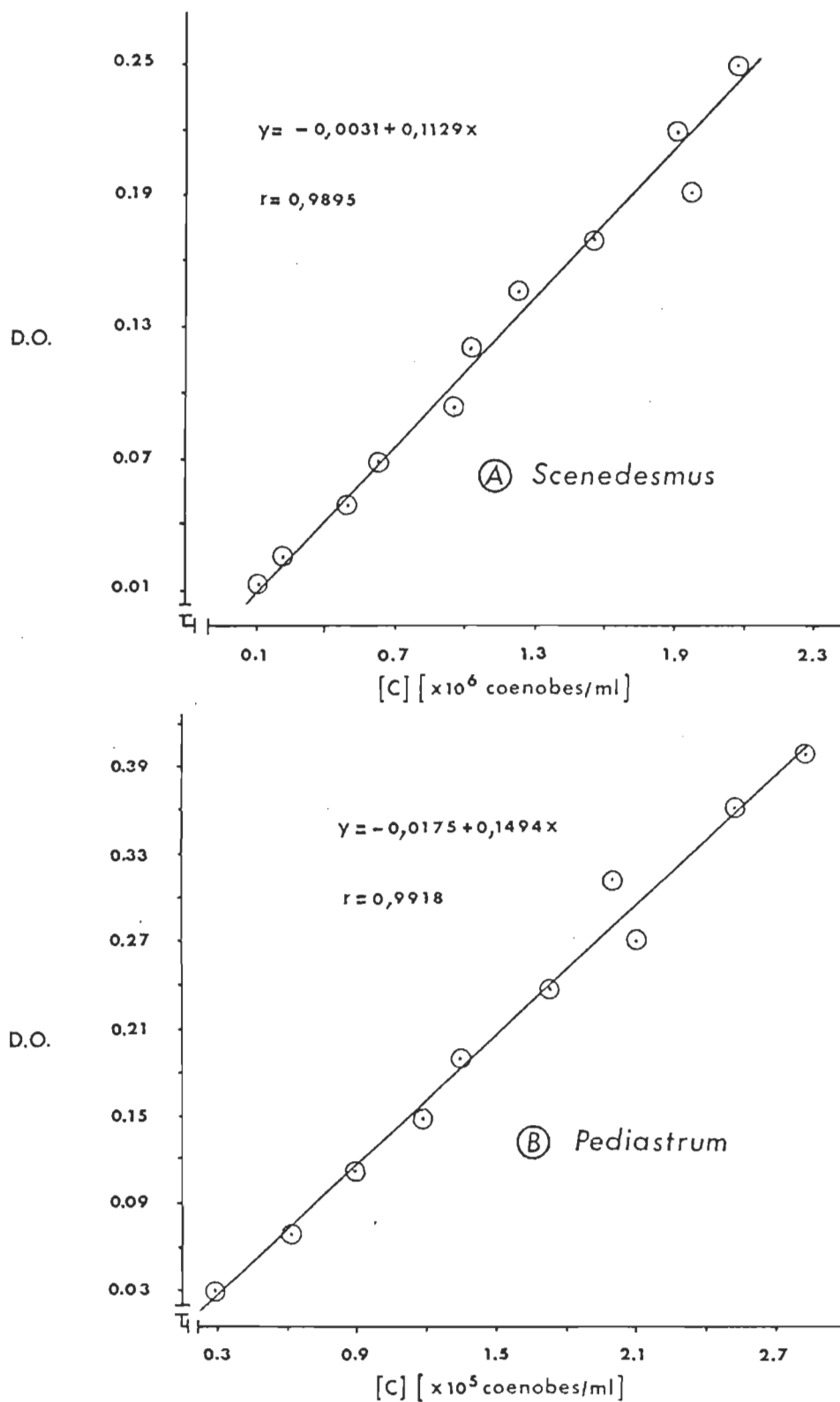


Figure 4.- Droites de régression illustrant la relation entre la densité optique (D.O.) et la concentration en coenobes ([C])



de ces valeurs. A partir de ces équations nous pouvions en tout temps relier les valeurs de densité optique enregistrées à la concentration réelle en cellules.

C'est de cette façon que les densités finales atteintes par les cultures en phase stationnaire ont pu être déterminées. Dans chacun des cas, les lectures de densité optique prises se sont situées à l'intérieur des limites établies lors de l'établissement de la courbe de calibration. Les cultures trop denses furent diluées avant de procéder à la prise des lectures afin de ne pas dépasser la limite supérieure établie.

#### b) Détermination des densités et des temps

La densité atteinte en phase stationnaire fut déterminée par calcul d'une moyenne mathématique des densités optiques maximales enregistrées sur une période de trois jours consécutifs. La durée de cette phase ne dépassait guère deux ou trois jours généralement, bien que pouvant se prolonger dans certains cas. De cette densité optique maximale moyenne, la densité réelle ou concentration en coenobes fut déduite en utilisant les équations de régression établies lors de la calibration (Figure 4).

Le temps d'atteinte des densités correspondant à la phase stationnaire fut déterminé à partir de la densité maximale moyenne déterminée préalablement. Ce temps correspond au premier jour où la dite densité fut réellement atteinte.

Remarque:

Ces deux valeurs (temps d'atteinte et densités en phase stationnaire) ne constituent réellement que des approximations, bien qu'ayant été calculées de la façon la plus précise possible.

D'une part, la méthode de lecture présente une faiblesse. Il n'est pas démontré que la relation D.O. vs C telle qu'établie pour l'étude des taux de croissance spécifiques soit valable en phase de croissance post-exponentielle (Lund & Talling, 1957). Ceci tient du fait que les formes et les tailles des coenobes peuvent très bien varier au moment de l'approche de la phase stationnaire, différemment de la phase de croissance exponentielle où ces variations sont considérées comme négligeables. Cette possibilité de variation en réponse aux divers traitements n'a pu être évaluée ce qui crée un risque d'erreur.

D'autre part, le temps d'atteinte fut calculé en jours, et non pas en heures. Dans plusieurs cas la densité maximale ne fut pas atteinte précisément le jour de l'échantillonnage ou le jour suivant mais à une période intermédiaire. Cette valeur intermédiaire fut alors rapportée à la valeur entière (jours) la plus rapprochée. La précision minimale ainsi obtenue se situe à  $\pm 0,5$  jour (12 heures). Comparée aux valeurs moyennes enregistrées (12 et 14 jours) ceci nous donne une marge d'erreur relative de  $\pm 4\%$  environ.

Quoiqu'il en soit, ces variations pouvant exister dans la forme et la taille des coenobes ne peuvent pas, à notre avis, être impor-

tantes au point de rendre inutilisable la densité optique comme index de la concentration des cultures. Des études préliminaires des variations morphologiques entraînées, à la fois par les températures d'acclimatation et les types de traitement, nous permettent de croire que celles-ci sont en effet très minimes.

## II- RESULTATS

### Cinétiques de croissance

#### Modifications possibles et modifications observées

Les cultures ayant subi divers types de traitements, il était normal de s'attendre à des réactions différentes selon les cas présentés. La figure 5 montre les trois points où des variations de la cinétique normale peuvent se produire. Le point 1 correspond à la démarcation entre la phase de latence et le début de la phase de croissance exponentielle. Ce point peut être déplacé dans l'espace de deux façons: soit vers le bas, ce qui traduit le départ de la phase de croissance exponentielle à une densité plus faible, soit vers le haut, ce qui implique le démarrage de cette même phase à une densité plus élevée. Le point 2 correspond à la pente de la phase de croissance exponentielle ou taux de croissance spécifique ( $k'$ ). Cette pente peut s'accentuer, ce qui traduit une élévation du taux de croissance spécifique, ou s'affaiblir, ce qui traduit l'effet contraire. Le point 3 correspond à la densité finale atteinte par la culture à sa phase stationnaire. Cette densité peut soit augmenter ou diminuer traduisant une variation correspondante en terme de biomasse produite. En plus des variations dans l'espace décrites, peuvent s'ajouter des variations dans le temps aux points 1 et 3. Le démarrage de la phase de croissance exponentielle peut

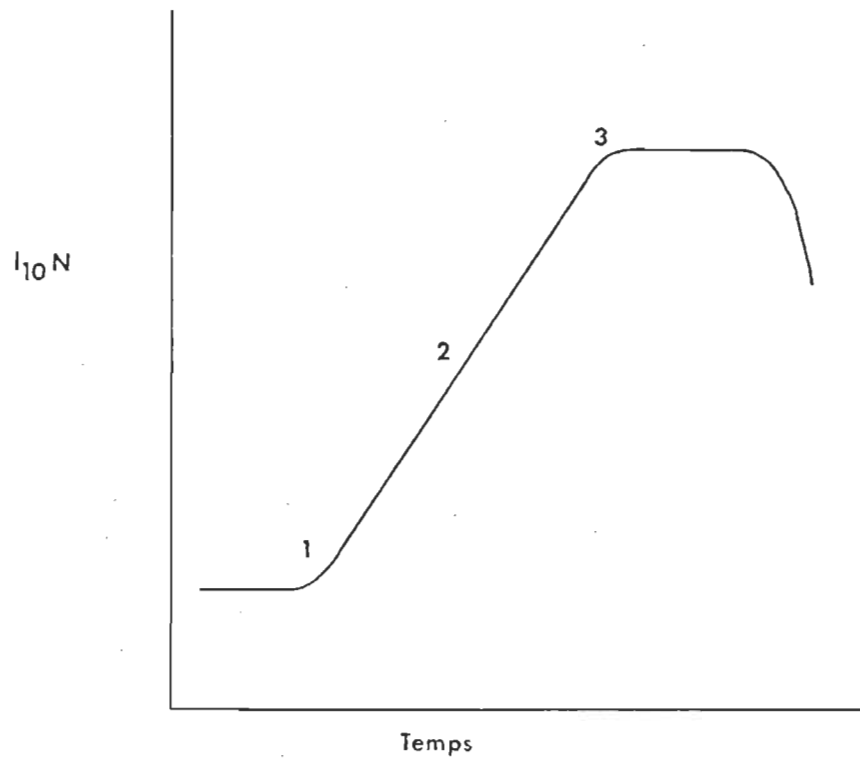


Figure 5.- Points de modification d'une cinétique de croissance normale

- 1- Départ de la phase de croissance exponentielle
- 2- Phase de croissance exponentielle
- 3- Fin de la phase de croissance exponentielle

se faire plus tôt ou plus tard (point 1), et celle-ci peut encore se terminer à des temps différents (point 3).

Parmi toutes les variations possibles, quatre d'entre elles ont pu être mesurées dans notre étude: -retard de croissance ou non (point 1), -variations de pente (point 2), -variations de la densité en phase stationnaire (point 3), -temps d'obtention du plateau de la phase stationnaire. Chacune de ces variations est décrite dans les quatre sous-sections suivantes.

#### 1- Retards de croissance

Aucun retard de croissance n'a été enregistré dans l'ensemble des cultures, autant témoins que traitées. Il semble donc que l'acclimatation aux diverses températures de référence ainsi que les traitements subis par les cultures n'aient eu d'influence sur le déroulement normal de la croissance d'une espèce ou de l'autre. Les algues n'ont pas subi de choc ayant pu arrêter momentanément la division cellulaire et prolonger la phase de latence. Le démarrage de la phase de croissance exponentielle s'est effectué sans nécessiter une densité au départ plus élevée (Appendice D).

## 2- Variations des taux de croissance

Il s'est manifesté des variations de pente ou de taux de croissance, tant au sein des cultures témoins que des cultures traitées. Cependant bien que la pente de la phase de croissance exponentielle ait variée énormément dans bien des cas, cette phase est restée linéaire. Les tableaux 7 et 8 illustrent les variations de taux de croissance pour l'ensemble des cultures étudiées. Les réactions des cultures témoins seront d'abord analysées et celles des cultures traitées le seront par la suite.

### A- Cas des cultures témoins

Les différentes valeurs de taux de croissance enregistrées à une même température ont été ramenées à une valeur unique afin d'aplanir les variations existant entre les divers replicats et d'obtenir un seul point de comparaison entre les diverses températures. La substitution a été faite par régression linéaire simple après combinaison des données de chacun des témoins en une seule analyse. Cette procédure a été préférée à celle du calcul d'une moyenne mathématique. D'après Freund (1971) (dans Zar (1974), la suggestion d'utiliser la moyenne des y pour chaque x dans l'analyse de régression n'est pas recommandable car ceci entraîne une perte certaine d'information. Le nombre de replicats fut de 4 ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ) sauf dans le cas de Scenedesmus (3) à la température de 20°C. Le tableau 8 montre les valeurs enregistrées pour chaque replicat à une même température ainsi que la valeur unique substituée après analyse de régression.

Préalablement à la substitution des différents replicats par une valeur unique pour chaque température d'acclimatation, l'homogénéité entre ceux-ci a été vérifiée au moyen de l'analyse de covariance. Le test de différence de pentes fut utilisé pour des niveaux de confiance de 95%.



TABLEAU 7

Taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) des cultures, selon  
le type de traitement et la température ( $^{\circ}\text{C}$ )

A. Pediastrum

		$10^{\circ}$	$15^{\circ}$	$20^{\circ}$	$25^{\circ}$	$30^{\circ}$
Témoins*	T	0,070	0,145	0,137	0,153	0,139
Hypothèse 1	11	0,120	0,164	0,144	0,136	0,022
	12 A	0,134	0,161	0,109	0,155	0,012
	12 B	0,149	0,149	0,144	0,129	0,053
	12 C	0,108	0,164	0,161	0,119	0,029
Hypothèse 2	1 A	0,091	0,150	0,110	0,173	0,123
	1 B	0,077	0,110	0,126	0,178	0,115
	1 C	0,083	0,159	0,164	0,167	0,134
	2 A	0,069	0,092	0,095	0,139	0,103
	2 B	0,070	0,112	0,149	0,156	0,118
	2 C	0,069	0,122	0,110	0,125	0,141

B. Scenedesmus

		$10^{\circ}$	$15^{\circ}$	$20^{\circ}$	$25^{\circ}$	$30^{\circ}$
Témoins*	T	0,114	0,162	0,183	0,191	0,166
Hypothèse 1	11	0,197	0,202	0,187	0,164	-0,067
	12 A	0,166	0,158	0,179	0,150	-0,121
	12 B	0,164	0,184	0,202	0,156	-0,116
	12 C	0,163	0,189	0,179	0,140	-0,107
Hypothèse 2	1 A	0,100	0,162	0,160	0,187	0,156
	1 B	0,101	0,181	0,186	0,195	0,182
	1 C	0,144	0,184	0,197	0,184	0,187
	2 A	0,120	0,168	0,166	0,172	0,175
	2 B	0,111	0,171	0,182	0,217	0,203
	2 C	0,109	0,172	0,167	0,180	0,136

\*  $k'$  moyen substitué

TABLEAU 8

Comparaison des taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) des différents témoins à chaque température d'acclimatation ( $^{\circ}\text{C}$ ) et taux de croissance spécifique moyen substitué

A. Pediastrum

$T^{\circ}$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	Covariance	T substitué	Erreur-type
$10^{\circ}$	0,059	0,077	0,086	0,058	-	0,070	0,0089
$15^{\circ}$	0,139	0,151	0,174	0,116	-	0,145	0,0101
$20^{\circ}$	0,145	0,143	0,132	0,128	+	0,137	0,0143
$25^{\circ}$	0,172	0,149	0,158	0,133	+	0,153	0,0088
$27^{\circ}$	0,166	0,158	0,132	-----	+	0,152	0,0072
$30^{\circ}$	0,140	0,140	0,135	0,139	+	0,139	0,0101
$35^{\circ}$	0,069	0,078	0,077	-----	+	0,075	0,0067

pour  $10^{\circ}$ :  $T_1 = T_4 < T_2 = T_3$

pour  $15^{\circ}$ :  $T_1 = T_2 = T_3$ ,  $T_1 = T_2 = T_4$ ,  $T_3 > T_4$

B. Scenedesmus

$T^{\circ}$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	Covariance	T substitué	Erreur-type
$10^{\circ}$	0,107	0,113	0,133	0,102	-	0,114	0,0108
$15^{\circ}$	0,156	0,160	0,161	0,172	+	0,162	0,0101
$20^{\circ}$	0,167	0,192	0,189	-----	+	0,183	0,0131
$25^{\circ}$	0,190	0,175	0,206	0,192	+	0,191	0,0109
$27^{\circ}$	0,161	0,177	0,173	-----	+	0,170	0,0093
$30^{\circ}$	0,144	0,152	0,183	0,186	+	0,166	0,0117
$35^{\circ}$	0,051	0,055	-----	-----	+	0,053	0,0031

Pour  $10^{\circ}$ :  $T_1 = T_2 = T_4 < T_3$

+ Homogénéité

- Hétérogénéité

Les résultats de l'analyse sont présentés dans le tableau 8. Un résultat positif révèle que les variations entre les replicats ne sont pas significatives et que ceux-ci forment un bloc homogène, d'où la possibilité de substitution par une valeur unique telle que décrite précédemment. L'homogénéité s'est révélée dans une proportion de onze cas sur quatorze. Les trois cas où le résultat fut négatif furent aux températures d'acclimatation de 10° et 15°C pour Pediastrum et à la température de 10°C pour Scenedesmus. Dans ces trois cas, nous avons adopté la même procédure de substitution que dans les autres cas, même si l'homogénéité n'a pu être démontrée. Les écarts plus considérables entre témoins seraient attribuables au fait qu'à ces deux températures le degré de précision des appareils refroidissants était plus faible ( $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ ) qu'aux autres températures ( $\pm 0,03$  et  $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ ). Un tel degré de variation dans un domaine de température probablement physiologiquement trop bas pourrait provoquer des réactions difficilement prévisibles.

Des tests de "Q" furent effectués afin de déterminer lesquels parmi les trois séries de témoins non homogènes différaient des autres de façon significative. Dans la série Scenedesmus à 10°C, le résultat fut  $T_1 = T_2 = T_4 < T_3$ . Le témoin  $T_3$  présente donc une valeur plus élevée que l'ensemble des trois autres (Tableau 8.B). Celui-ci ayant été inclus tel quel dans le calcul de la valeur substituée, celle-ci serait légèrement surestimée. Dans la série Pediastrum 10°, le résultat fut  $T_1 = T_4 < T_2 = T_3$ . Celle-ci est divisée en deux groupes différents, ce

qui donne une valeur substituée intermédiaire entre ceux-ci (Tableau 8.A). Dans la série Pediastrum 10°, le résultat fut  $T_1 = T_2 = T_3$ ,  $T_1 = T_2 = T_4$  et  $T_4 = T_3$ . Les deux valeurs extrêmes diffèrent entre elles mais sont égales chacune aux deux valeurs intermédiaires (Tableau 8.A). La valeur substituée se situe entre les valeurs intermédiaires, à mi-chemin entre les deux valeurs extrêmes: il semble toutefois difficile de déterminer laquelle des valeurs extrêmes s'écarte le plus de la moyenne.

Les erreurs-type de chaque valeur moyenne substituée furent calculées et apparaissent au tableau 8. Ces valeurs ont servi à établir pour chacune des espèces, une cinétique "normale" représentant la variation des taux de croissance spécifiques en fonction des différentes températures d'acclimatation (Figure 6). Les deux cinétiques présentent un patron d'ensemble assez similaire bien qu'elles se distinguent en différents points. L'évolution des taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) est la même sur le plan qualitatif; augmentation de 10° à 25° et diminution de 25° à 35°C. Dans les deux cas la valeur optimale mesurée se situe à 25°C. Celle-ci cependant peut être déplacée vers 27°C pour Pediastrum, la valeur  $y$  enregistrée étant presque identique (0,152) à celle enregistrée à 25°C (0,153).

Les distinctions apparaissent entre les deux espèces quant aux valeurs absolues enregistrées. Les taux de croissance de Scenedesmus sont supérieurs dans l'ensemble à ceux de Pediastrum sauf à la température de 35°C (0,053 contre 0,075). Sa valeur optimale est de 0,191 contre 0,153 pour l'autre espèce. Elles se distinguent aussi de façon intéressante

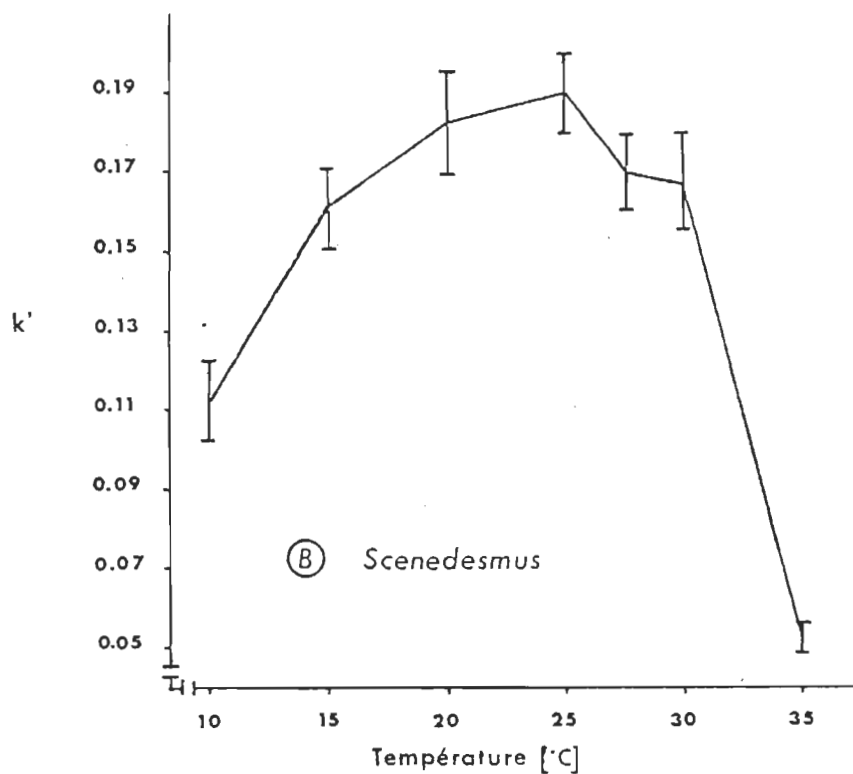
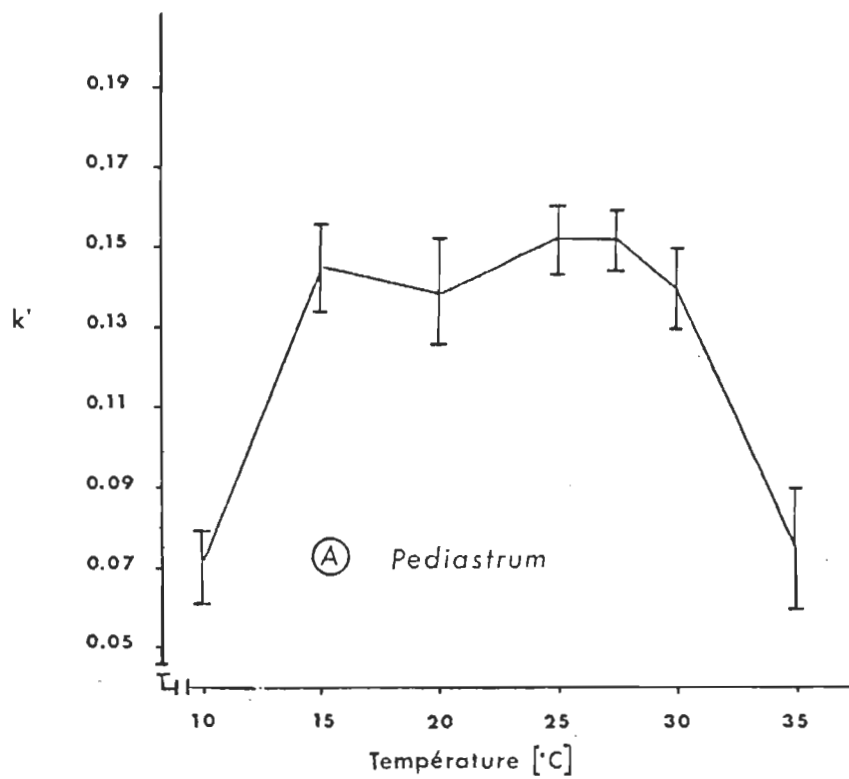


Figure 6.- Taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) moyens des témoins aux différentes températures d'acclimatation

quant à leurs réactions aux températures extrêmes. L'algue Scenedesmus semble montrer une préférence pour les basses températures plus marquée que l'autre. A 10°C son taux de croissance est nettement supérieur (0,114 contre 0,070) et le passage de 10° à 15° provoque une augmentation relativement moindre de ce taux (de 0,114 à 0,162 seulement contre de 0,070 à 0,145 pour Pediastrum). Cette augmentation est toutefois vraisemblablement exagérée dans le cas de Pediastrum du fait de l'inversion entre les valeurs enregistrées à 15° (0,145) et à 20°C (0,137). Pediastrum semble montrer une préférence (ou tolérance) plus nette pour les températures élevées. A 35°C son taux de croissance est nettement supérieur (0,075 contre 0,053) et de plus le passage de 30° à 35°C a entraîné chez cette espèce une chute du taux de croissance beaucoup moindre (de 0,139 à 0,075 seulement contre de 0,166 à 0,053 pour Scenedesmus).

Une relation fut établie entre le taux de métabolisme de chaque espèce cultivée et sa température d'acclimatation. Cette relation est donnée par le calcul du  $Q_{10}$  de  $k'$ ,

$$Q_{10} = \frac{k' T^{\circ} + 10}{k' T^{\circ}}$$

qui montre le facteur de multiplication des taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) par intervalle de 10°C. Les résultats sont illustrés dans le tableau 9.

Les deux espèces présentent des réactions similaires dans certaines limites de températures et des réactions différentes dans d'autres li-

TABLEAU 9

Valeurs des Q10 de  $k'$  pour les intervalles de température  
compris entre les limites de 10° et 35°C

Intervalle	<u>Scenedesmus</u>	<u>Pediastrum</u>
10° - 20°	+ 1,6	+ 2,0
15° - 25°	+ 1,2	+ 1,1
20° - 30°	+ 1,1	+ 1,0
25° - 35°	- 3,6	- 2,0

mites. Dans les limites comprises entre  $15^{\circ}$  et  $30^{\circ}$  les comportements relatifs sont presque identiques, Scenedesmus présente un  $Q_{10}$  de 1,2 dans l'intervalle  $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$  alors que celui-ci est de 1,1 pour Pediastrum. Dans l'intervalle  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$  cette valeur est de 1,1 pour Scenedesmus et de 1,0 pour Pediastrum. Les deux espèces réagissent donc de façon similaire aux variations de température comprises entre ces limites de  $15^{\circ}$  et  $30^{\circ}$ . Le taux de métabolisme demeure assez constant et indépendant de la température d'acclimatation.

Dans les limites extrêmes ( $10^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  et  $25^{\circ}$  -  $35^{\circ}$ ), les deux espèces présentent des comportements différents. Scenedesmus profite moins du passage de  $10^{\circ}$  à  $20^{\circ}$  ( $Q_{10} = 1,6$ ) que Pediastrum ( $Q_{10} = 2,0$ ), alors que le passage de  $25^{\circ}$  à  $35^{\circ}$  entraîne un renversement de situation: Scenedesmus présente un  $Q_{10}$  plus élevé en valeur absolue (3,6) que Pediastrum (2,0). Ces résultats sont en accord avec la tendance déjà relevée, à savoir que l'algue Scenedesmus serait mieux adaptée aux basses températures ( $10^{\circ}$ ) et plus affectée par les hautes températures ( $30^{\circ}$ - $35^{\circ}$ ) que Pediastrum.

Une analyse de corrélation et regression a permis d'établir une relation linéaire entre les taux de croissance spécifique ( $k'$ ) et l'inverse de la température, pour la phase ascendante des cinétiques normales ( $10^{\circ}$ - $25^{\circ}$ C). Cette relation est illustrée dans la figure 7. Nous remarquons que l'effet provoqué par la température est sensiblement le même chez les deux espèces considérées (pente de -1,33369 chez Pediastrum et de -1,31003 chez Scenedesmus). Les taux de métabolisme sont donc haussés



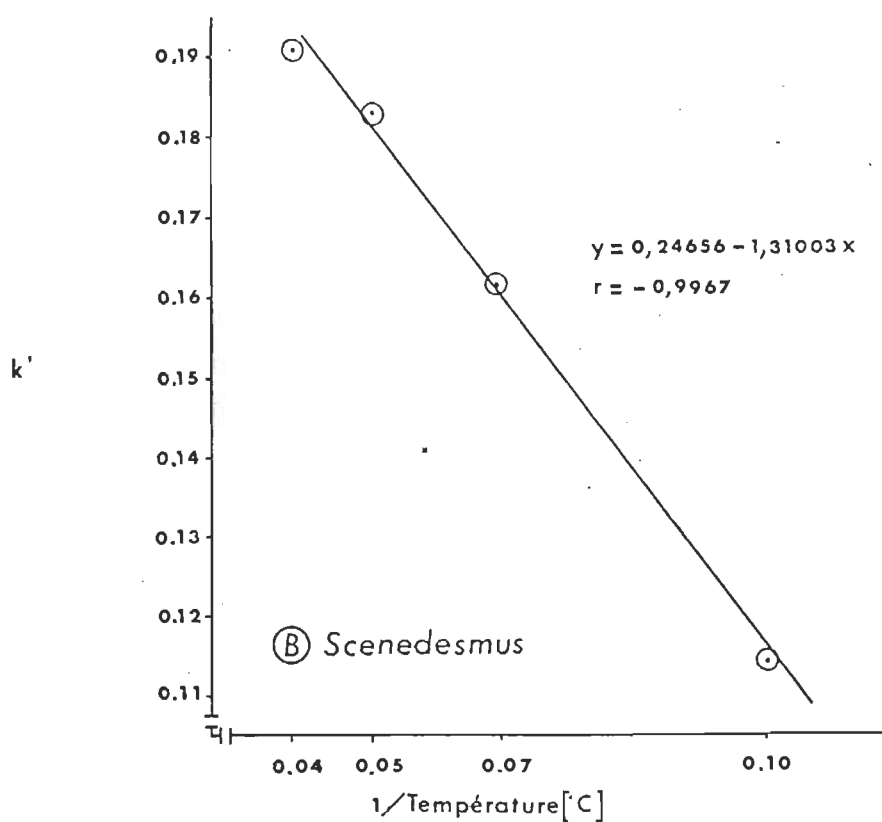
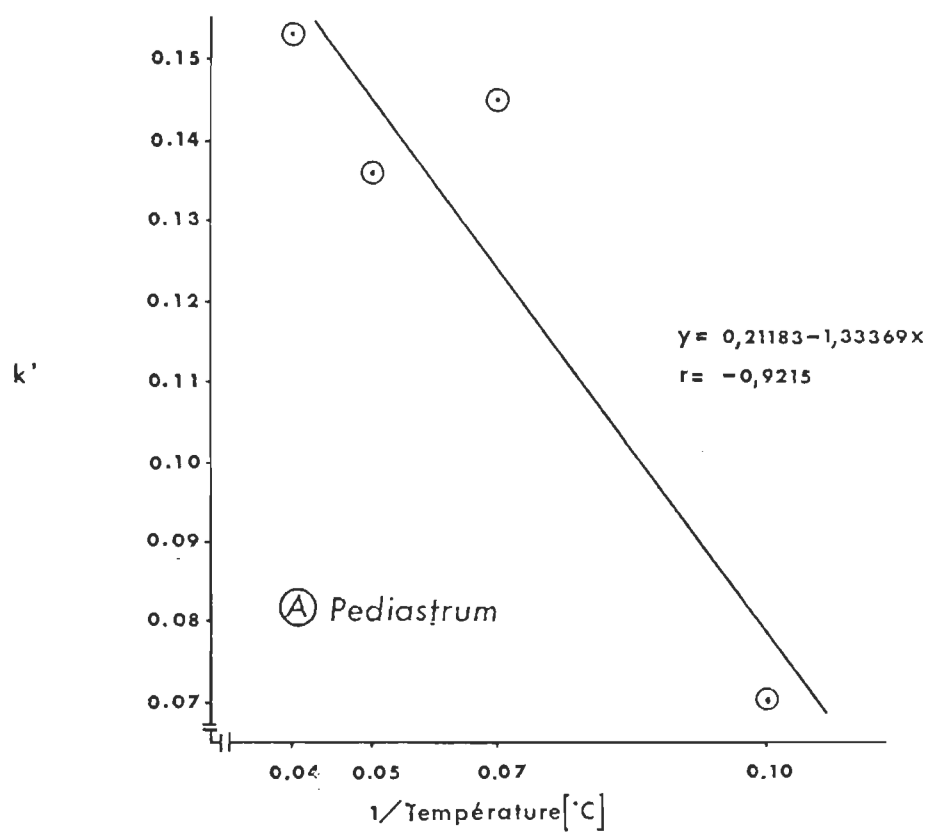


Figure 7.- Droites de régression illustrant la relation entre le taux de croissance spécifique moyen ( $k'$ ) des témoins et l'inverse de la température ( $^{\circ}\text{C}$ )

de façon égale et cette élévation est fonction de l'inverse de la température. Bien que les  $Q_{10}$  varient en valeurs absolues chez les deux espèces, celles-ci réagissent de façon identique aux hausses de température entre  $10^{\circ}$ - $25^{\circ}\text{C}$  (le calcul du  $Q_{10}$  tient compte des valeurs absolues, alors que le coefficient de régression fait abstraction de celles-ci, ne révélant que le taux d'augmentation). Le taux de corrélation moindre chez Pediastrum est attribuable au fait que, chez cette espèce, le taux de croissance spécifique ( $k'$ ) enregistré à  $15^{\circ}$  est supérieur à celui enregistré à  $20^{\circ}\text{C}$ .

Il semble difficile d'expliquer, dans le cas de Pediastrum, le fait que le taux de croissance spécifique soit supérieur à  $15^{\circ}\text{C}$  (0,147) à la valeur obtenue à  $20^{\circ}\text{C}$  (0,139). Rappelons-nous qu'à  $15^{\circ}\text{C}$  la comparaison entre témoins a révélé que ceux-ci étaient significativement différents. Parmi les quatre valeurs enregistrées, deux d'entre elles ( $T_1 = 0,139$  et  $T_2 = 0,151$ ) se rapprochent de la valeur témoin substituée (0,147). Les deux autres ( $T_3 = 0,174$  et  $T_4 = 0,116$ ) sont plus éloignées de part et d'autre de celle-ci. Au moment où nous avons calculé la valeur témoin substituée nous avons inclus ces quatre témoins, ce qui nous a conduit à une valeur substituée à  $15^{\circ}$  supérieure à celle obtenue à  $20^{\circ}\text{C}$ . Il nous semble raisonnable de penser qu'une des valeurs extrêmes ( $T_2 = 0,174$ , la plus élevée) en soit une anormale, bien que nous puissions en déterminer la cause exacte. Le faible degré de précision de l'appareil refroidissant ne semble pas pouvoir être invoqué seul ici du fait que nous n'avons pas enregistré autant de variabilité pour l'autre espèce cultivée

sous le contrôle de ce même appareil. Nous pourrions en plus invoquer une plus grande sensibilité de l'algue Pediastrum aux variations enregistrées à basse température.

Admettant une valeur anormale et effectuant un nouveau calcul de la valeur témoin substituée, nous obtenons une valeur de 0,135 qui se situe alors entre la valeur obtenue à 10° et celle obtenue à 20°C. Cette nouvelle valeur apparaît plus acceptable; l'effet de la température sur la croissance des algues étant généralement continu entre les basses températures et les températures élevées devenant défavorables (Fogg, 1975). Il serait par conséquent plus plausible de retrouver cette tendance chez Pediastrum, comme nous l'avons fait chez Scenedesmus. Une seconde valeur peut être tirée également de la figure 7.B; la valeur prédite du taux de croissance moyen à 15° est alors de 0,123. Cette seconde valeur serait plus acceptable que la précédente puisque obtenue en tenant compte de toutes les valeurs enregistrées. L'hypothèse d'une valeur témoin exagérée sera envisagée dans les analyses de résultats qui vont suivre.

#### B- Cas des traités

Les réactions des cultures traitées ont été analysées en comparaison avec les valeurs témoins substituées précédemment. Le tableau 7 montre les différentes valeurs des taux de croissance des cultures traitées face à la valeur du témoin correspondant. Afin de mieux visualiser les tendances possibles au sein du bloc des cultures traitées ces valeurs

ont été transformées en valeurs relatives (%) établissant une ligne de référence uniforme de valeur zéro correspondant au témoin. Cette même ligne est continue et permet de comparer les effets enregistrés d'une température de référence à l'autre. Ces résultats sont ensuite analysés en deux groupes, selon les traitements du type 1 ou selon les traitements du type 2.

a) Traités de l'hypothèse 1

Rappelons que l'hypothèse de traitement 1 consistait en une élévation de température de  $10^{\circ}\text{C}$  et son maintien. Elle comportait quatre traitements différents selon que l'écart était atteint directement (11), ou en passant par une température intermédiaire pour une durée de trois heures (12.A), six heures (12.B) ou douze heures (12-C). (Tableau 4).

Des variations importantes se sont produites chez les deux espèces traitées et se situent d'un côté comme de l'autre de la valeur neutre du témoin (Tableau 7). Le cheminement est le même à travers les diverses températures d'acclimatation; soit un effet favorable aux basses températures ( $10^{\circ}$  et  $15^{\circ}\text{C}$ ), un effet neutre à température intermédiaire ( $20^{\circ}\text{C}$ ), suivi d'un effet délétère aux températures élevées ( $25^{\circ}$  et  $30^{\circ}\text{C}$ ) (Figure 8). L'homogénéité des réactions entre traités fut d'abord vérifiée à chaque température de référence et pour chaque espèce. L'analyse de covariance utilisant le test de différence de pente fut utilisée pour des niveaux de confiance de 95%. Le test s'est révélé être positif dans tous les cas (Tableau 10). Ceci permet d'affirmer que les cultures ont réagi de façon similaire suite aux traitements de l'hypothèse 1. L'homogénéité

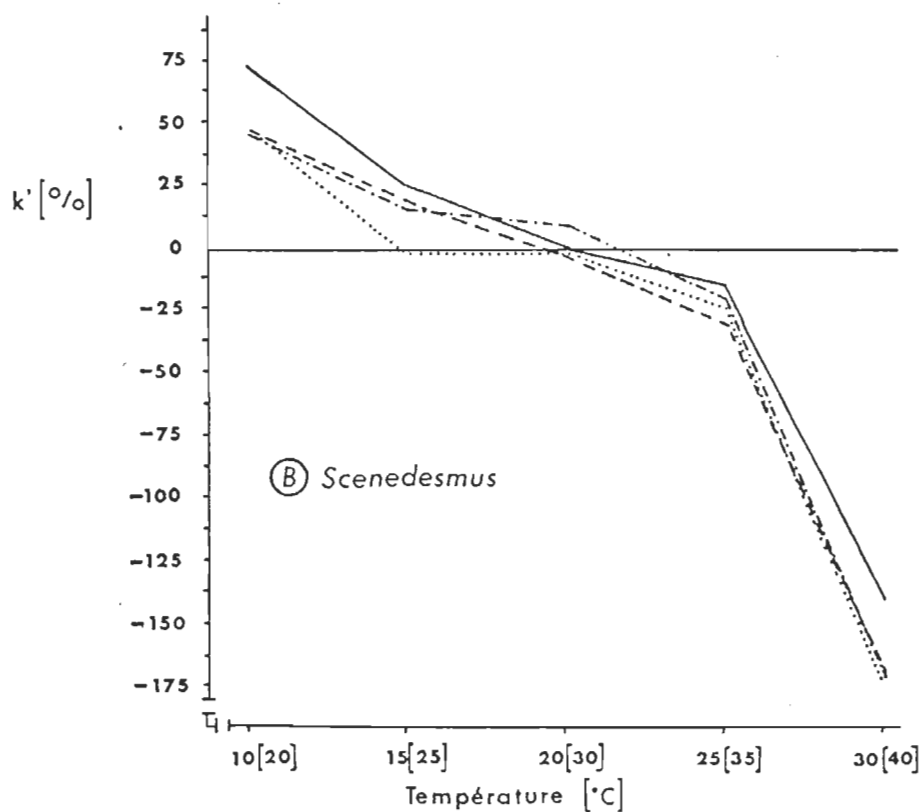
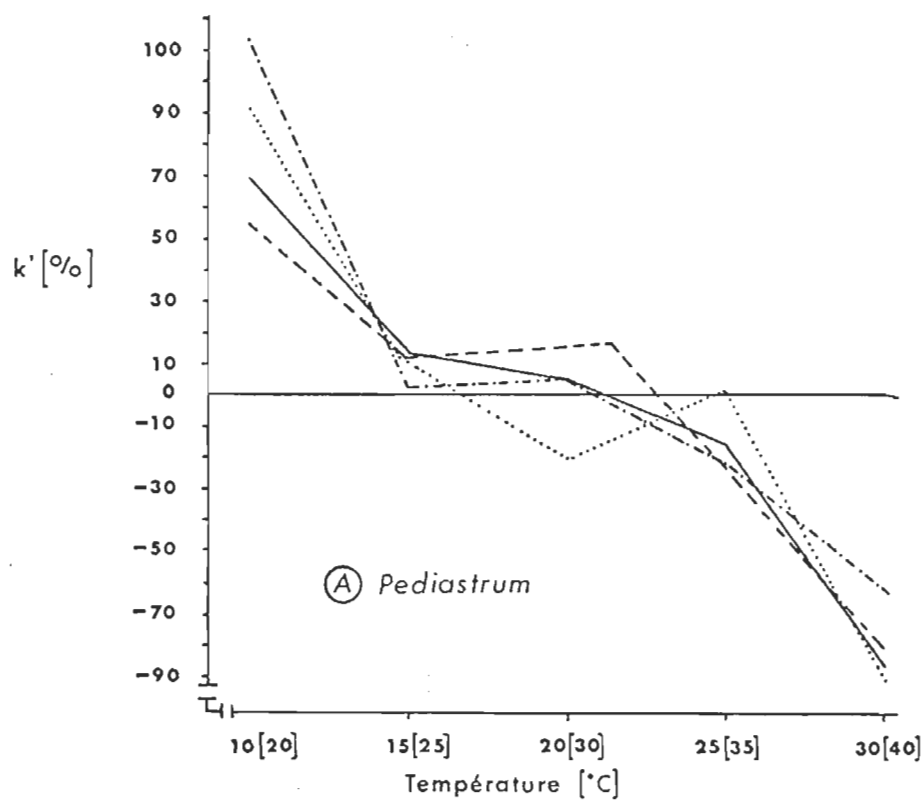


Figure 8.- Taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) relatifs (%) des traités de l'hypothèse 1 et du témoin, selon la température  
(—11, ···· 12.A, ---- 12.B, -.- 12.C)

TABLEAU 10

Comparaison des taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) des traités de l'hypothèse 1 et de l'ensemble traités-témoin, selon la température ( $^{\circ}\text{C}$ ) et résultats de l'analyse de covariance

A.

Espèce	Situation	Température d'acclimatation				
		$10^{\circ}$	$15^{\circ}$	$20^{\circ}$	$25^{\circ}$	$30^{\circ}$
<u>Pediastrum</u>	Traités	+	+	+	+	+
	Traités + témoin	-	+	+	+	-
<u>Scenedesmus</u>	Traités	+	+	+	+	+
	Traités + témoin	-	+	+	+	-

+ Homogénéité  
- Hétérogénéité

B.

Espèce	$T^{\circ}$	Situation	Relations déduites
<u>Pediastrum</u>	$10^{\circ}$	Traités	Témoin < Traités
	$30^{\circ}$	Traités vs témoin	Témoin > Traités
<u>Scenedesmus</u>	$10^{\circ}$	Traités	Témoin < Traités
	$30^{\circ}$	Traités vs témoin	Témoin > Traités

des réactions des traités face aux témoins fut ensuite vérifiée au moyen de la même épreuve statistique.

Les résultats (Tableau 10) montrent que les variations ne sont pas significatives, pour les deux espèces traitées, aux températures d'acclimatation de  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$  et  $25^{\circ}\text{C}$ . Ceci confirme la neutralité que nous avons avancée pour les traitements effectués à partir de la température de référence  $20^{\circ}\text{C}$ .

Les deux effets positif et négatif enregistrés à  $15^{\circ}$  et  $25^{\circ}\text{C}$  respectivement ne sont pas significatifs. Cependant dans chaque cas, presque toutes les cultures traitées ont varié dans le même sens comparative-ment au témoin correspondant (Figure 8). Aux extrêmes de température  $10^{\circ}$  et  $30^{\circ}$ , les différences sont significatives: à la première ( $10^{\circ}$ ), le témoin est plus faible et, à la seconde ( $30^{\circ}$ ), il est plus élevé que l'ensemble des traités de l'hypothèse 1 (Tableau 10).

Afin de résumer l'effet d'ensemble des traitements de l'hypothèse 1, nous avons procédé, comme dans le cas des cultures témoins, à la substitution des différentes valeurs observées par une valeur unique. La même épreuve statistique que celle décrite pour les témoins a été utilisée à cette fin. Les résultats sont exprimés dans le tableau 11, la figure 9 pour les valeurs relatives et la figure 10 pour les valeurs absolues.

Il est à remarquer qu'à  $20^{\circ}\text{C}$  l'effet provoqué est le même (+2%) pour les deux espèces; le point neutre se situe à  $21^{\circ}\text{C}$  environ. A cette température d'acclimatation, les traitements de type 1 n'ont pas d'effet notable sur le taux de croissance. Bien que les deux espèces étudiées

TABLEAU 11

Comparaison des taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) moyens des traités de l'hypothèse 1 et des témoins, selon la température ( $^{\circ}\text{C}$ ) et résultats de l'analyse de covariance

A. Pediastrum

$T^{\circ}$	Témoin	Erreur-type	Traités	Erreur-type	Variation (%)	Covariance
$10^{\circ}$	0,070	0,0089	0,128	0,0072	+ 83	-
$15^{\circ}$	0,145	0,0101	0,160	0,0100	+ 10	+
$20^{\circ}$	0,137	0,0143	0,139	0,0160	+ 2	+
$25^{\circ}$	0,153	0,0088	0,135	0,0106	- 12	+
$30^{\circ}$	0,139	0,0101	0,029	0,0136	- 79	-

B. Scenedesmus

$T^{\circ}$	Témoin	Erreur-type	Traités	Erreur-type	Variation (%)	Covariance
$10^{\circ}$	0,114	0,0108	0,173	0,0102	+ 52	-
$15^{\circ}$	0,162	0,0101	0,183	0,0091	+ 13	+
$20^{\circ}$	0,183	0,0131	0,187	0,0122	+ 2	+
$25^{\circ}$	0,191	0,0109	0,153	0,0083	- 20	+
$30^{\circ}$	0,166	0,0117	- 0,103	0,0115	-162	-

+ Homogénéité

- Hétérogénéité



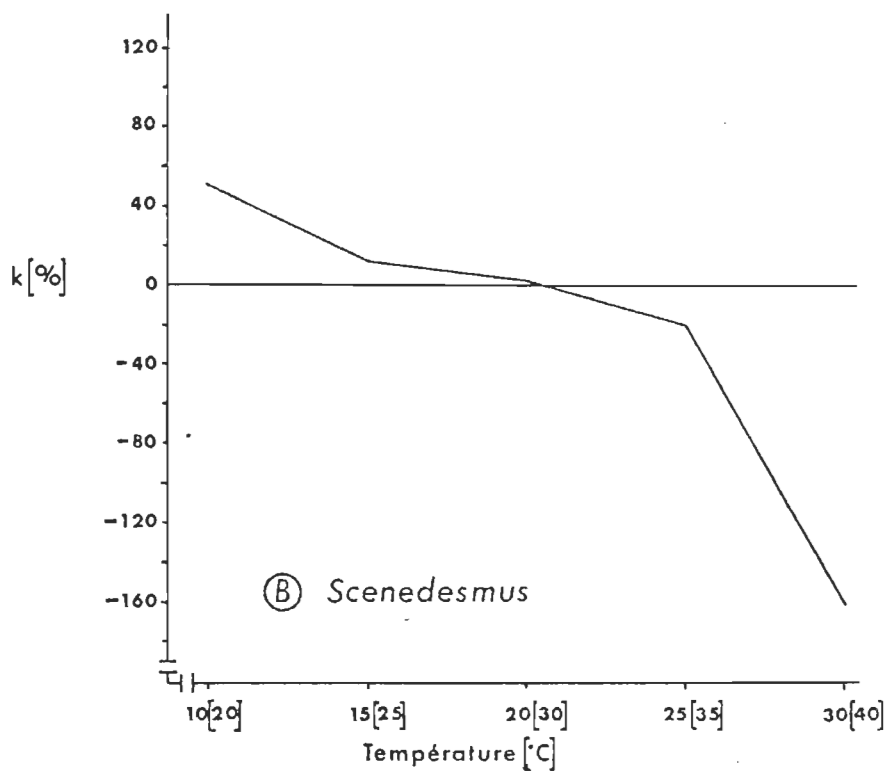
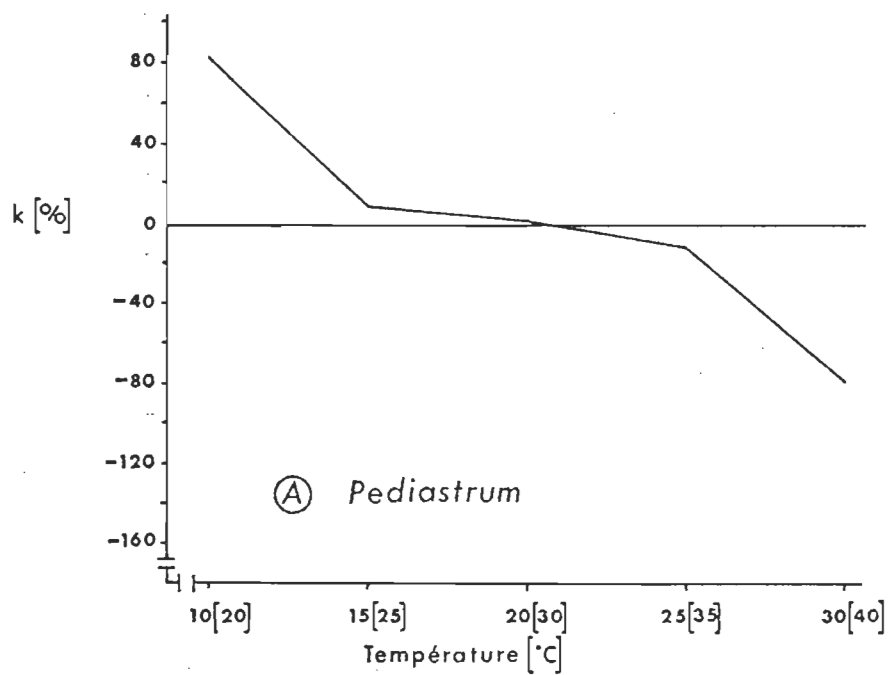


Figure 9.- Taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) relatifs (%) moyens des traités de l'hypothèse 1 et du témoin, selon la température d'acclimatation et d'incubation (entre parenthèses)

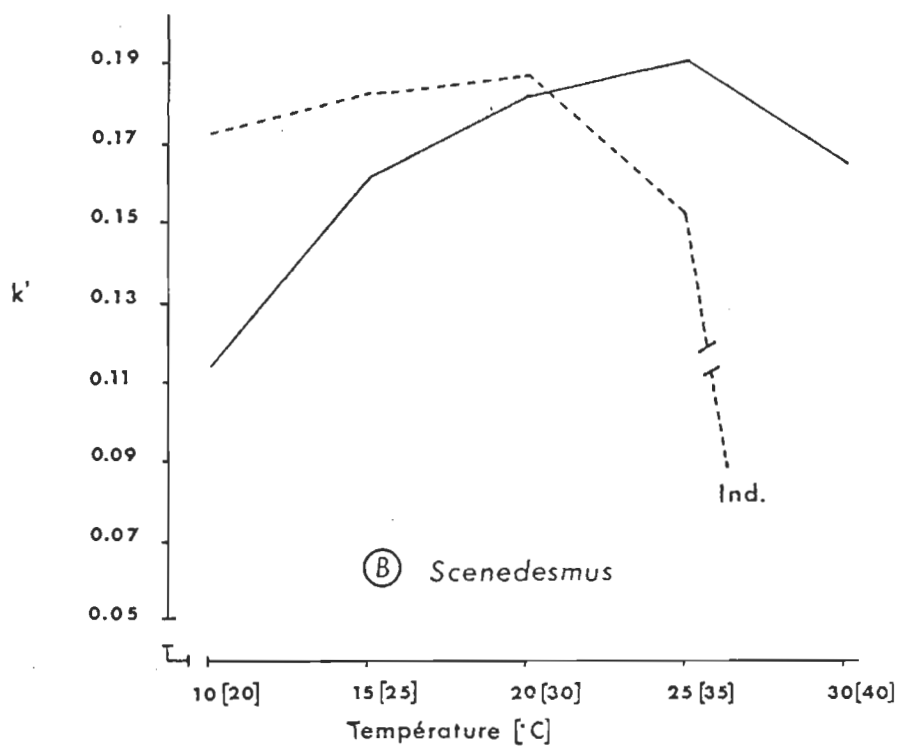
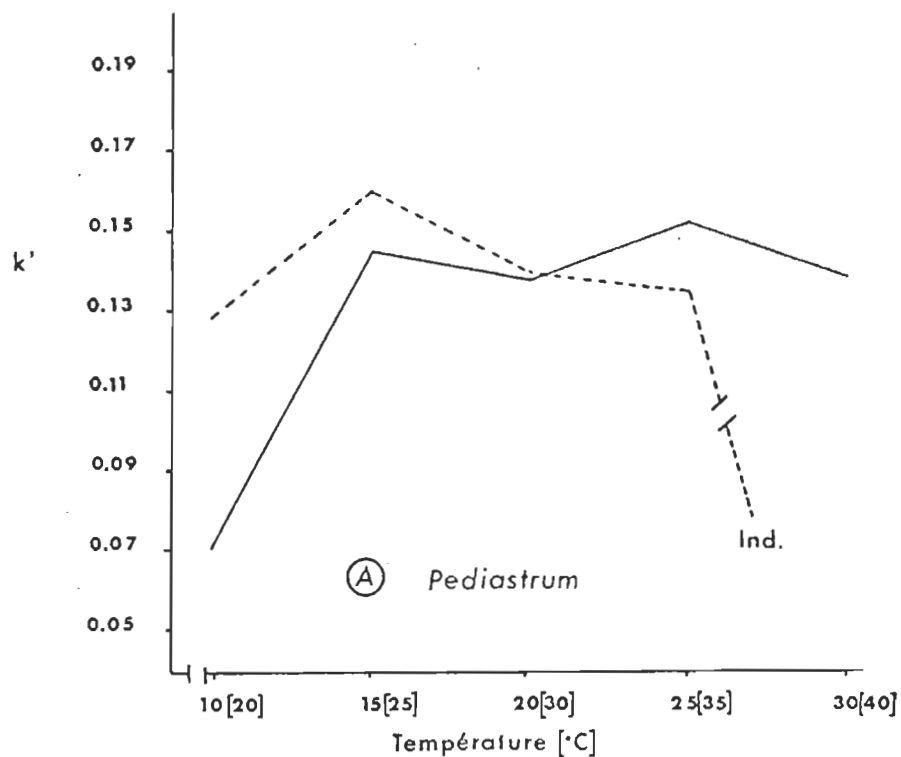


Figure 10.- Taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) moyens des traitements de l'hypothèse 1 (---) et du témoin (—), selon la température d'acclimatation et d'incubation (entre parenthèses)

réagissent selon un même patron à ce type de traitement, elles ne se distinguent pas moins quant à leurs réactions aux températures extrêmes. Il semble que Scenedesmus tolère mieux les basses températures que Pediastrum. Ceci relève du fait que l'élévation de température de  $10^{\circ}$  à  $20^{\circ}$  lui profite moins (+52% vs +83%) que sa consœur (Tableau 11). Il semble aussi, de la même façon, que Scenedesmus tolère moins bien les températures élevées. Bien que son taux de croissance spécifique soit supérieur à  $30^{\circ}\text{C}$  (0,166 vs 0,139), le passage à  $40^{\circ}\text{C}$  provoque une chute plus accentuée (-162% vs -79%) de son taux de croissance et une mort plus précoce (Tableau 11).

Les deux constatations précédentes avaient déjà été faites en analysant uniquement le comportement des cultures témoins. Le facteur différent introduit ici est la période d'acclimatation; elle ne semble pas avoir affecté la réaction des espèces étudiées puisque les tendances retrouvées sont les mêmes

Une dernière analyse fut effectuée afin de déterminer l'effet d'une période d'acclimatation sur le taux de croissance de différentes cultures à une même température. La comparaison fut effectuée entre les cultures traitées selon l'hypothèse 1 (élévation de  $10^{\circ}\text{C}$  et maintien) et les cultures témoins de la température correspondante. Les données recueillies ont permis la comparaison entre les limites de  $20^{\circ}\text{C}$  et  $35^{\circ}\text{C}$ . Le tableau 12 montre les valeurs comparées ainsi que le résultat de l'épreuve d'homogénéité adoptée, telle qu'utilisée dans les deux cas précédents. Ces résultats sont repris sur la figure 11 pour les valeurs

TABLEAU 12

Comparaison des taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) moyens des traités de l'hypothèse 1 et des témoins correspondant à la température d'incubation ( $T_{10}$ ) de ces traités

Espèce	Traités			Témoins			Covariance	Variation (%)
	$T_0$	$k'$	Erreur-type	$T_0$	$k'$	Erreur-type		
<u>Pediastrum</u>	$10^0$	0,128	0,0072	$20^0$	0,137	0,0143	+	- 7
	$15^0$	0,160	0,0100	$25^0$	0,153	0,0088	+	+ 5
	$20^0$	0,139	0,0160	$30^0$	0,139	0,0101	+	0
	$25^0$	0,135	0,0106	$35^0$	0,075	0,0067	-	+80
<u>Scenedesmus</u>	$10^0$	0,173	0,0102	$20^0$	0,183	0,0131	+	- 5
	$15^0$	0,183	0,0091	$25^0$	0,191	0,0109	+	- 2
	$20^0$	0,187	0,0122	$30^0$	0,166	0,0117	+	+13
	$25^0$	0,153	0,0083	$35^0$	0,053	0,0031	-	+185

+ Homogénéité

- Hétérogénéité

relatives et sur la figure 12 pour les valeurs absolues.

Les résultats se sont avérés positifs aux températures de 20<sup>°</sup>, 25<sup>°</sup> et 30<sup>°</sup>C, alors qu'ils se sont avérés négatifs à 35<sup>°</sup>C. Ceci révèle qu'il n'existe pas de différences significatives entre les taux de croissance spécifiques enregistrés dans les cultures acclimatées (témoins) et ceux des cultures non acclimatées (traitées). Le passage de cultures déjà acclimatées à 10<sup>°</sup>, 15<sup>°</sup> et 20<sup>°</sup>C aux températures correspondantes de 20<sup>°</sup>, 25<sup>°</sup> et 30<sup>°</sup>C est suivi d'une réponse immédiate du taux de croissance. L'ajustement du cycle ontogénique, ainsi que du métabolisme cellulaire semble être instantané dans ces trois intervalles. Le résultat négatif enregistré à 35<sup>°</sup>C démontre une différence hautement significative quant à l'effet de l'acclimatation des cultures. Il s'est avéré que les valeurs des taux de croissance des cultures acclimatées étaient de beaucoup inférieures à celles des cultures non acclimatées. Il semble donc que la température soit trop élevée et présente un effet délétère sur les cultures qui stagnent un certain temps et dégénèrent par la suite. Deux observations effectuées au cours de la période d'acclimatation abondent en ce sens: d'abord le fait que les cultures n'aient pas encore atteint la phase stationnaire même après une période de plus de vingt jours, et ensuite le fait que les cultures se soient complètement décolorées et que les coenobes aient présenté des malformations morphologiques. Il est aussi à noter que cet effet délétère semble se manifester à retardement; il s'est présenté chez les cultures témoins (acclimatées durant une période de trois semaines) et pas chez les cultures traitées (non acclimatées).

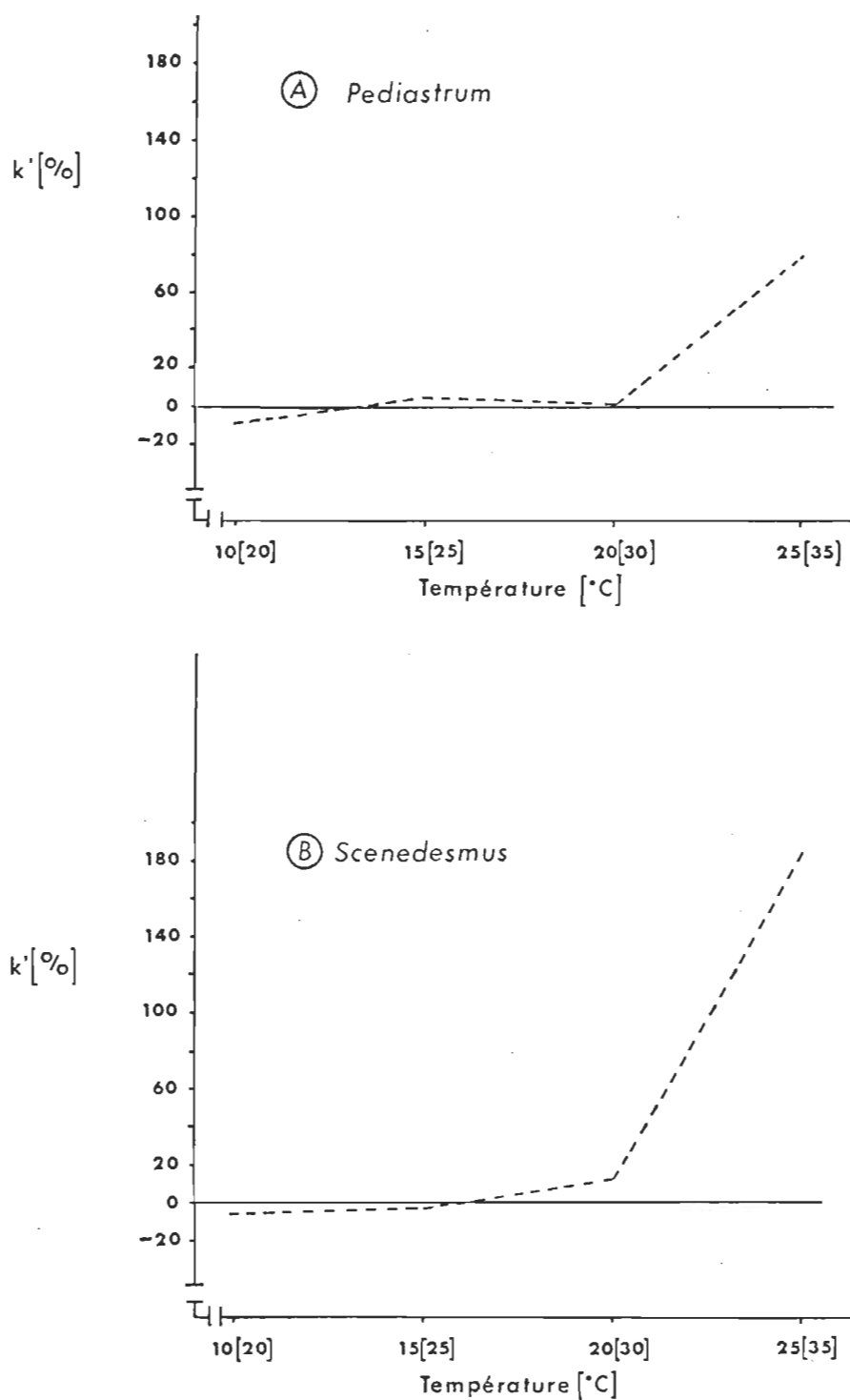


Figure 11.- Taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) relatifs (%) moyens des traités de l'hypothèse 1 (---), selon la température d'acclimatation, et des témoins (—) correspondant à la température d'incubation ( $T_{10}$ , entre parenthèses) de ces traités

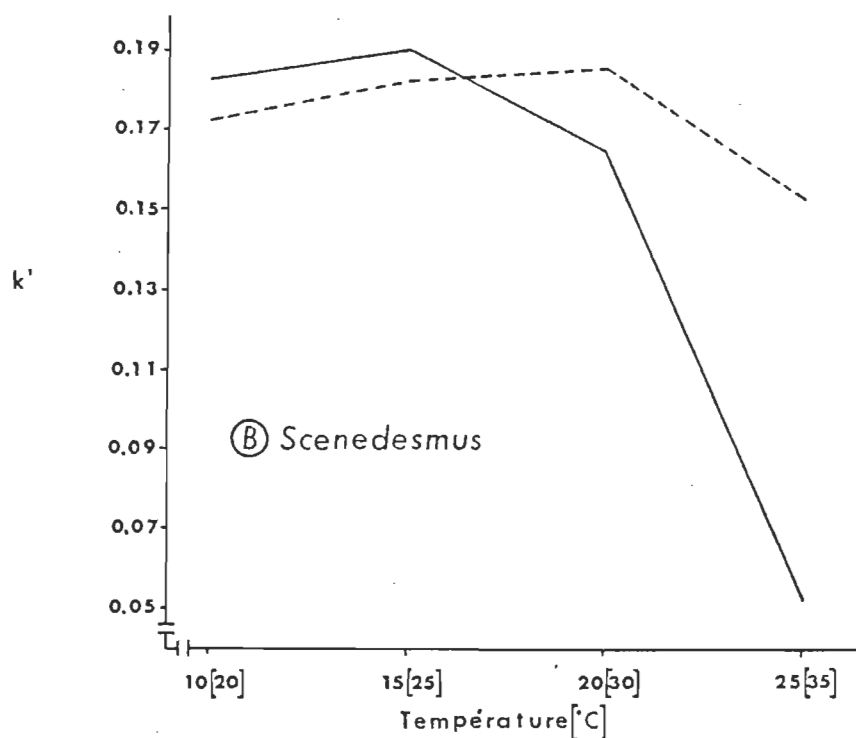
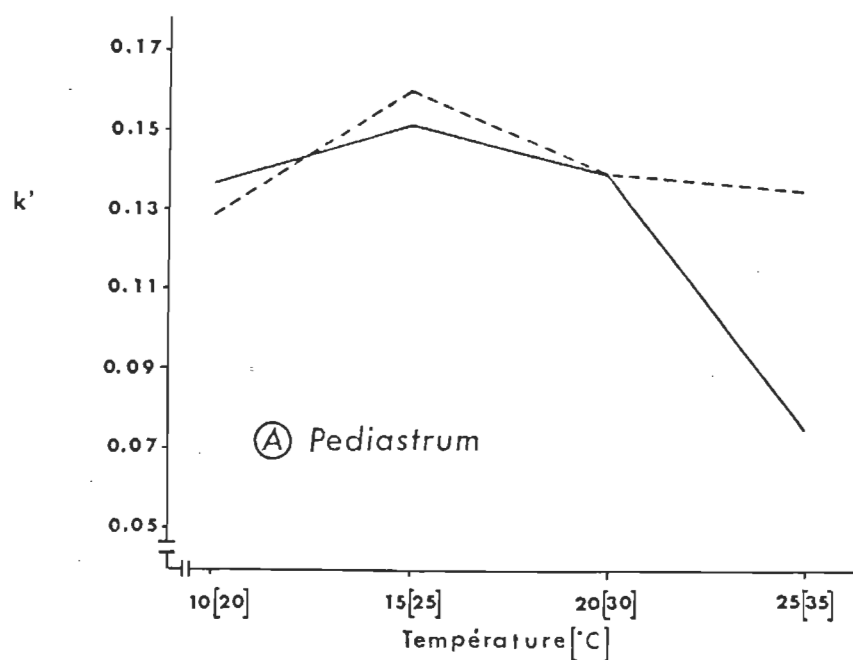


Figure 12.- Taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) moyens des traités de l'hypothèse 1 (---), selon la température d'acclimatation, et des témoins (—) correspondant à la température d'incubation ( $T_{10}$ , entre parenthèses) de ces traités

L'effet n'est donc pas seulement dû à l'écart de température provoqué, mais aussi, (et surtout) ici, à la durée de son maintien.

b) Traités de l'hypothèse 2

Rappelons que l'hypothèse 2 consistait en une élévation de température de  $10^{\circ}\text{C}$  (T10) suivie d'un retour à la température de référence (T0). Elle comportait deux types de traitements différents selon que les passages étaient effectués sans (stress 1) ou avec (stress 2) séjour à une température intermédiaire (T5). Les temps de séjour à T10 et T5 correspondent à des durées de trois heures (A), six heures (B) ou douze heures (C) (Tableau 4). Les variations enregistrées sont dans l'ensemble beaucoup moins importantes que dans le cas des traités de l'hypothèse 1. (Tableau 7.A pour Pediastrum et 7.B pour Scenedesmus). De plus, ces variations semblent également réparties de part et d'autre du témoin, comme l'indiquent la figure 13 pour le traitement 1 et la figure 14 pour le traitement 2.

L'homogénéité entre les traités d'abord, et entre les témoins et l'ensemble des traités ensuite, a été vérifiée par le test d'analyse de covariance décrit précédemment. Les résultats sont exprimés dans le tableau 13. Dans le cas de Scenedesmus, le résultat est positif aux cinq températures alors que dans le cas de Pediastrum un résultat négatif est apparu à  $15^{\circ}\text{C}$ . Un résultat positif signifie que les variations entre les six traités ou entre ceux-ci et leur témoin respectif, ne sont pas significatives. Un résultat négatif révèle qu'un ou plusieurs traités se distinguent des autres traités ou du témoin.



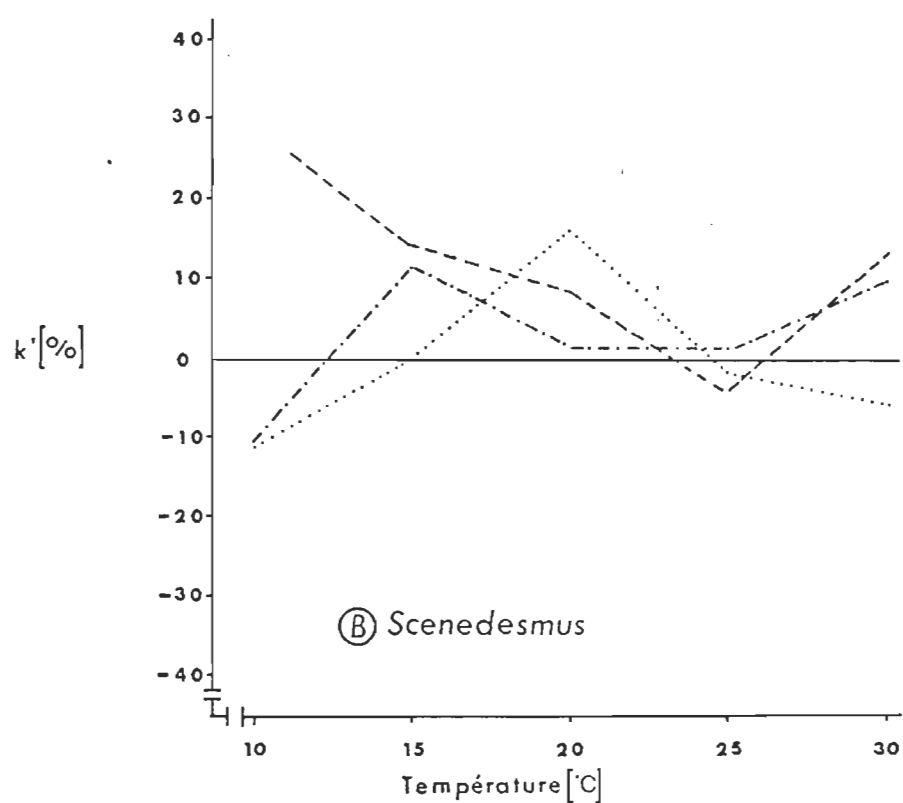
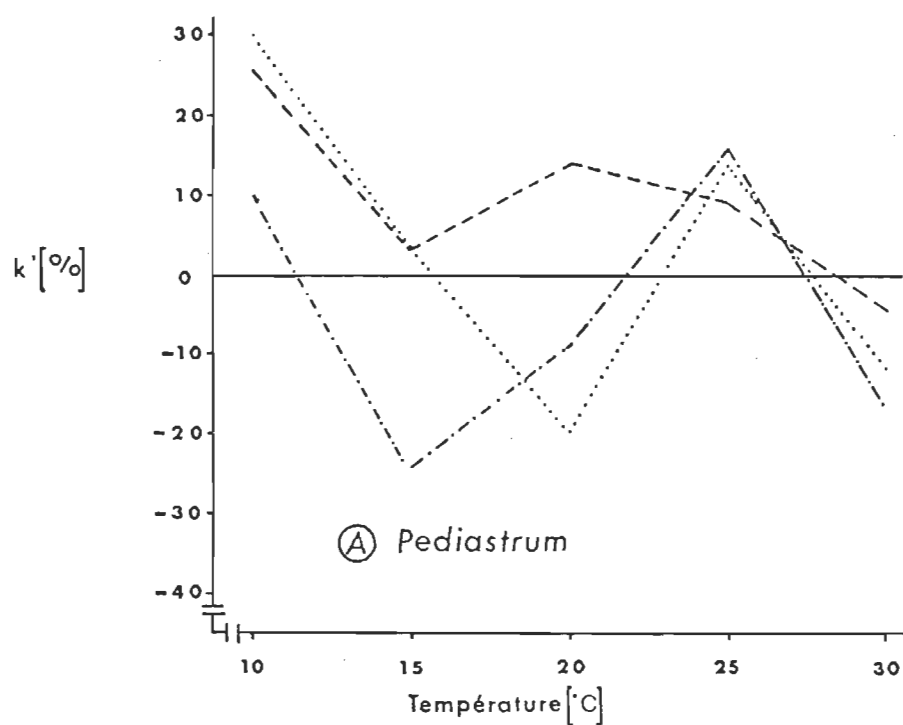


Figure 13.- Taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) relatifs (%) des traités de l'hypothèse 2 (Traitement 1) et du témoin, selon la température.  
(... 1.A, --- 1.B, --- 1.C)

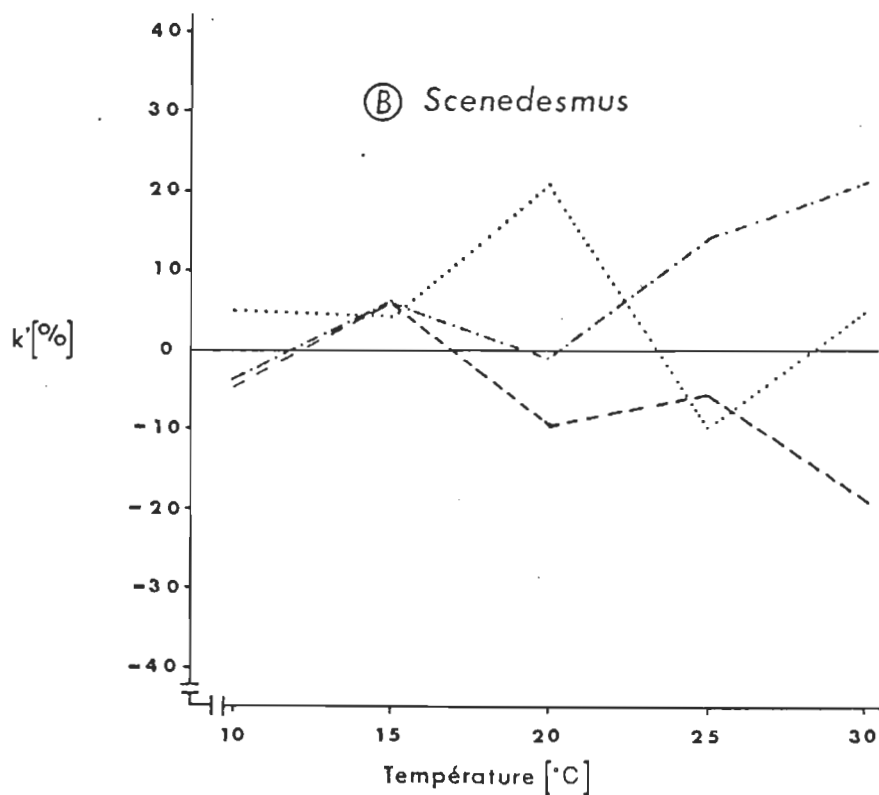
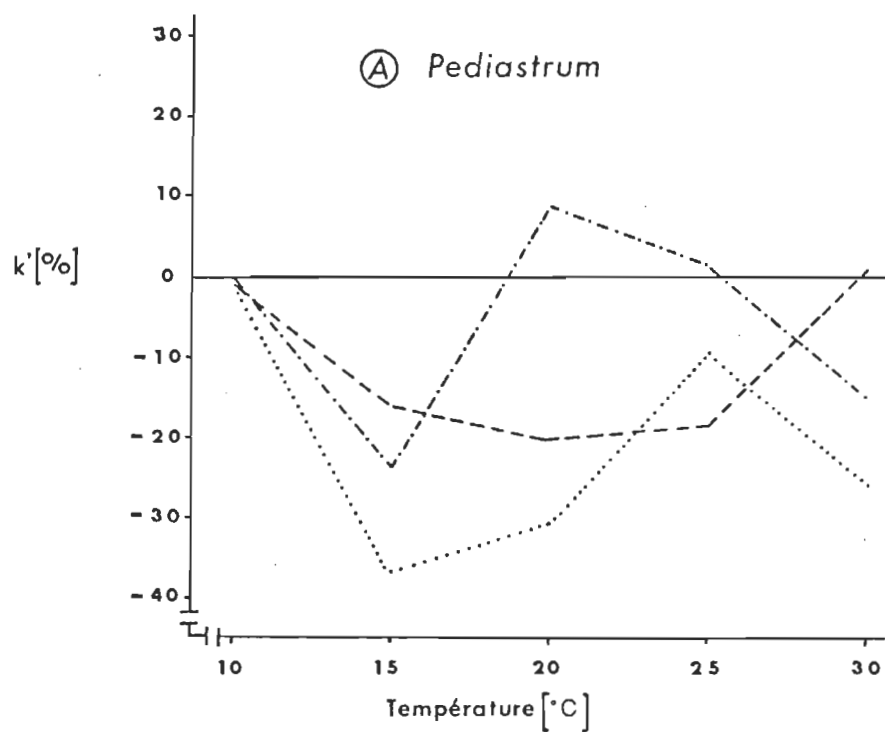


Figure 14.- Taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) relatifs (%) des traités de l'hypothèse 2 (Traitement 2) et du témoin, selon la température.  
(... 2.A, - - - 2.B, - · - 2.C)

TABLEAU 13

Comparaison des taux de croissance spécifiques (k') des traités de l'hypothèse 2 et de l'ensemble traités-témoins, selon la température (°C) et résultats de l'analyse de covariance

A.

Espèce	Situation	Température d'acclimatation				
		10°	15°	20°	25°	30°
<u>Pediastrum</u>	Traités	+	-	+	+	+
	Traités + témoin	+	-	+	+	+
<u>Scenedesmus</u>	Traités	+	+	+	+	+
	Traités + témoin	+	+	+	+	+

+ Homogénéité

- Hétérogénéité

B.

Espèce	T°	Situation	Relations déduites
<u>Pediastrum</u>	15°	Traités	2,A < 2,B = 2,C = 1,A = 1,B = 1,C
	15°	Traités vs témoin	2,A < T = 2,B = 2,C = 1,A = 1,B = 1,C

Dans le cas qui nous occupe (Pediastrum 15°), nous avons isolé un traitement (2.A) qui diffère significativement des cinq autres et du témoin. Ce traitement montre une valeur plus faible. Ceci pourrait s'expliquer en partie par le fait que celui-ci (2.A) ne soit resté qu'une durée de trois heures à 25°C (T10) comparativement aux deux autres traités de type 2 qui y ont séjourné six heures (2.B) ou douze heures (2.C). Il semble raisonnable de croire que le passage de 15° à 25°C ait pu avoir un effet favorable sur le taux de croissance, tel que relevé dans le cas des traités de l'hypothèse précédente. Cet effet serait en relation avec le temps de séjour d'après les réactions montrées par les cultures traitées 2.A, 2.B et 2.C (Figure 14). Le type de traitement 2 est celui qui a impliqué le plus grand nombre de changements de température (T0, T5, T10, T5, T0) et c'est en A (2.A) que ces changements ont été provoqués le plus rapidement. La fréquence de ceux-ci aurait pu entraîner un déséquilibre au sein de la culture, celle-ci n'ayant pas eu le temps de s'ajuster à chaque changement de température imposé. Cet effet fréquence de traitement ne semble toutefois pas pouvoir être invoqué car c'est le seul cas où celui-ci se serait manifesté: on aurait pu s'attendre à le retrouver aux autres températures et possiblement dans le cas du traitement 1. Rappelons aussi que les témoins de cette même espèce ont montré une différence significative entre eux à la température de 15°C. Comme nous l'avons avancé précédemment dans l'étude des cinétiques normales, cette variation aurait eu pour effet de nous mener, lors de la substitution de ceux-ci par une seule valeur témoin, à l'établissement d'une

valeur probablement trop élevée. Ceci expliquerait pourquoi le traitement 2.A a une faible valeur de taux de croissance comparé à son témoin dont la valeur serait surélevée.

De la même façon que dans le cas de l'hypothèse précédente et au moyen de la même épreuve statistique, nous avons procédé à la substitution des différentes valeurs observées par une seule pour chaque température d'acclimatation. Les résultats sont exprimés dans le tableau 14 et les figures 15 (valeurs relatives) et 16 (valeurs absolues).

L'analyse de covariance positive dans tous les cas, a révélé que les moyennes des traités ne diffèrent pas significativement des témoins. Les deux espèces n'ont donc pas été influencés de façon importante, ni dans un sens ou un autre. Il est à remarquer cependant que l'amplitude des variations est plus grande chez Pediastrum que chez Scenedesmus (Figure 15). Cette espèce semble donc montrer une plus grande variabilité que sa consœur; variabilité rattachée à l'espèce même (comme déjà signalé pour les cultures témoins), et vraisemblablement pas au type de traitement.

Nous remarquons que la moyenne des traités obtenue pour Pediastrum à 15°C ne diffère pas de façon significative de celle des témoins; ceci en dépit du fait qu'un traitement (2.A) diffère de son témoin. Celui-ci a été combiné aux autres traitements ce qui explique que la moyenne ne soit pas ou peu affectée par sa valeur plus faible. Si nous invoquons à nouveau l'hypothèse d'un témoin à valeur exagérée, ceci nous permet de réduire l'écart existant entre la valeur de celui-ci et celle des traités

TABLEAU 14

Comparaison des taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) moyens des traités de l'hypothèse 2 et des témoins, selon la température ( $^{\circ}\text{C}$ ) et résultats de l'analyse de covariance

A. Pediastrum

$T^{\circ}$	Témoin	Erreur-type	Traités	Erreur-type	Variation (%)	Covariance
$10^{\circ}$	0,070	0,0089	0,076	0,0089	+ 9	+
$15^{\circ}$	0,145	0,0101	0,124	0,0064	- 14	-
$20^{\circ}$	0,137	0,0143	0,126	0,0089	- 8	+
$25^{\circ}$	0,153	0,0088	0,156	0,0100	+ 2	+
$30^{\circ}$	0,139	0,0101	0,122	0,0080	- 12	+

B. Scenedesmus

$T^{\circ}$	Témoin	Erreur-type	Traités	Erreur-type	Variation (%)	Covariance
$10^{\circ}$	0,114	0,0108	0,114	0,0096	0	+
$15^{\circ}$	0,162	0,0101	0,173	0,0069	+ 7	+
$20^{\circ}$	0,183	0,0131	0,176	0,0059	- 4	+
$25^{\circ}$	0,191	0,0109	0,189	0,0093	- 1	+
$30^{\circ}$	0,166	0,0117	0,173	0,0160	+ 4	+

+ Homogénéité

- Hétérogénéité

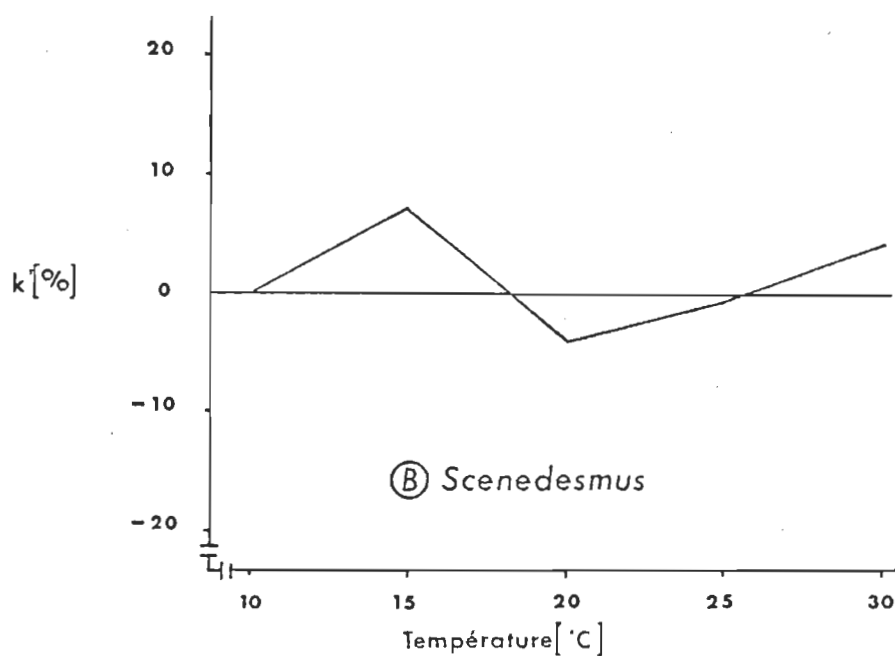
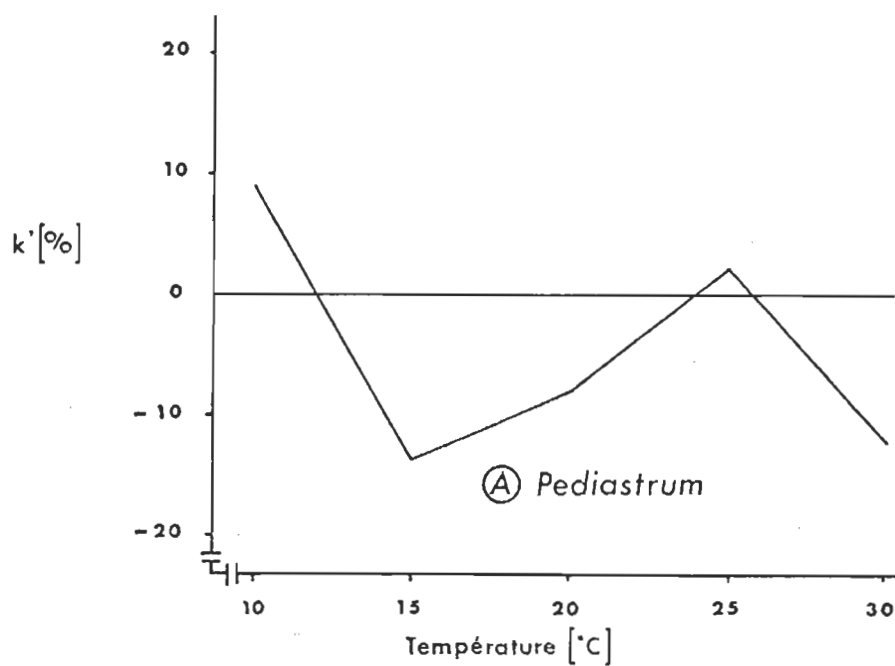


Figure 15.- Taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) relatifs (%) moyens des traités de l'hypothèse 2 et du témoin, selon la température

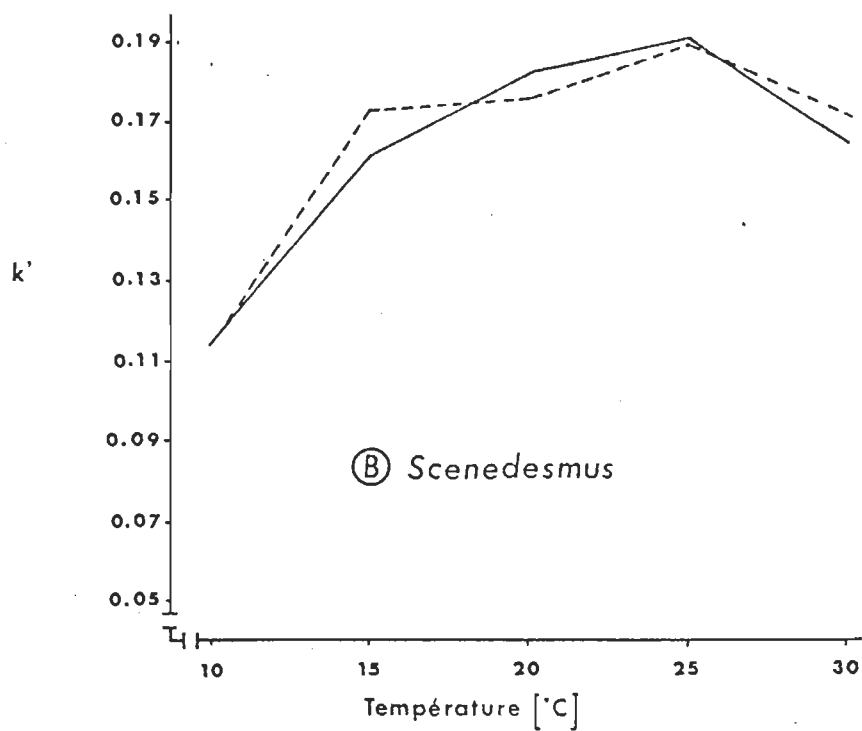
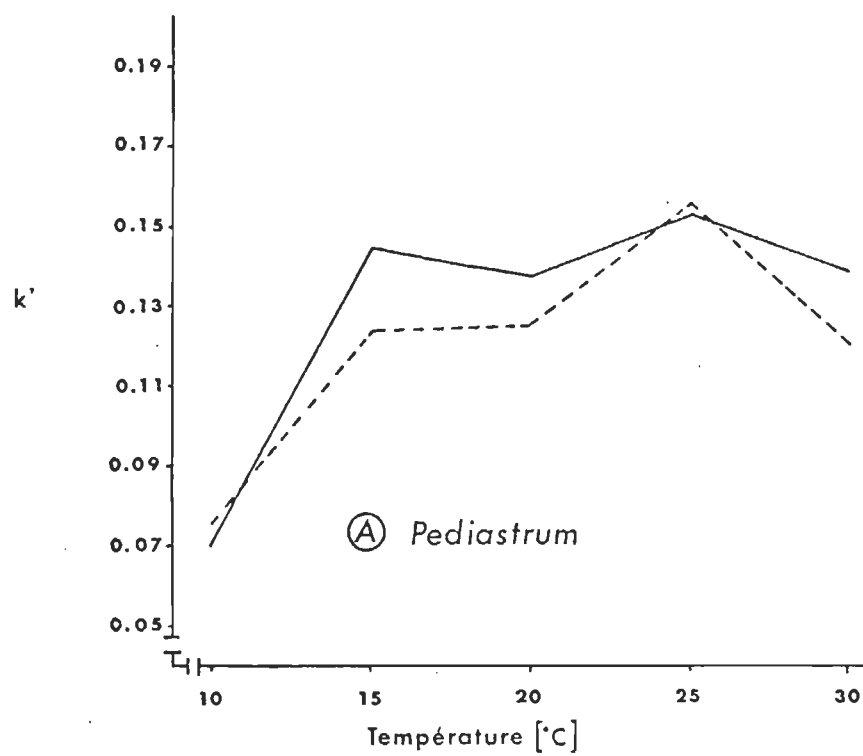


Figure 16.- Taux de croissance spécifiques ( $k'$ ) moyens des traités de l'hypothèse 2 (---) et du témoin (—), selon la température



(Figure 14.A). L'effet négatif enregistré (c'est la valeur moyenne la plus faible comparativement au témoin) aurait été moindre que celui calculé.

### 3- Densités finales

Les deux espèces se sont distinguées quant à la densité finale atteinte par les cultures. Les résultats sont présentés au tableau 15.A pour Pediastrum et au tableau 15.B pour l'algue Scenedesmus.

La première espèce montre un degré de variation beaucoup plus important que l'autre. Les écarts maxima rencontrés chez Pediastrum furent de 1,64 à  $4,22 \times 10^5$  coenobes/ml au sein des témoins, ce qui représente une variation relative de + 157%; et de 1,21 à  $4,41 \times 10^5$  coenobes/ml au sein des traités, ce qui représente une variation relative de +264%. La valeur moyenne de l'ensemble témoins et traités fut de  $2,77 \times 10^5$  coenobes/ml.

Ces mêmes écarts, chez Scenedesmus, furent de 6,59 à  $6,85 \times 10^6$  coenobes/ml, ce qui représente une variation relative de +4% au sein des témoins et de 6,46 à  $6,85 \times 10^6$  coenobes/ml au sein des traités, pour une variation relative de +6%. La valeur moyenne de l'ensemble témoins et traités fut de  $6,73 \times 10^6$  coenobes/ml.

Il semble donc que Pediastrum atteigne des densités très variables alors que Scenedesmus arrive à maintenir des densités finales très stables. Ces variations de densité ne semblent pas rattachées, à première vue, aux deux facteurs expérimentaux, soit la température et le type de traitement. Une analyse de variance à double critère de classification a été effectuée afin de déterminer s'il y avait une relation entre les densités atteintes et ces deux facteurs. Une analyse a été effectuée pour chaque espèce. Pour ce qui est du facteur type de traitement, l'analyse

TABLEAU 15

Densités finales atteintes par les cultures, selon le type de traitement et la température (°C)

A. Pediastrum ( $\times 10^5$  coenobes/ml)

Situation	Traitement	Température				
		10 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
Témoins	T1	2,19	3,04	3,26	4,22	3,64
	T2	1,64	3,77	3,72	3,39	3,28
	T3	2,01	3,66	2,21	4,00	2,51
	T4	1,99	2,18	2,79	2,85	2,22
Hypothèse 1	11	3,02	3,59	2,95	2,31	----
	12A	3,77	3,62	2,07	2,54	----
	12B	4,27	3,99	3,93	2,57	----
	12C	2,85	3,77	3,48	2,06	----
Hypothèse 2	1A	2,23	3,02	2,24	4,41	3,08
	1B	2,30	2,95	3,24	4,34	2,32
	1C	2,38	3,62	3,81	4,29	3,34
	2A	1,66	1,21	2,86	1,58	2,15
	2B	2,13	3,26	3,37	2,75	2,46
	2C	1,64	2,49	2,47	1,66	4,00

B. Scenedesmus ( $\times 10^6$  coenobes/ml)

Situation	Traitement	Température				
		10 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
Témoins	T1	6,59	6,73	6,78	6,82	6,65
	T2	6,68	6,65	6,85	6,78	6,66
	T3	6,62	6,73	6,76	6,80	6,75
	T4	6,67	6,75	----	6,80	6,84
Hypothèse 1	11	6,74	6,82	6,79	6,65	----
	12A	6,68	6,75	6,85	6,60	----
	12B	6,73	6,77	6,75	6,48	----
	12C	6,73	6,77	6,80	6,46	----
Hypothèse 2	1A	6,66	6,79	6,68	6,80	6,67
	1B	6,65	6,76	6,75	6,79	6,70
	1C	6,66	6,75	6,85	6,78	6,82
	2A	6,61	6,61	6,78	6,82	6,73
	2B	6,62	6,64	6,83	6,85	6,78
	2C	6,55	6,74	6,77	6,85	6,70

a été faite d'abord pour l'ensemble des données (témoins, traités de l'hypothèse 1, traités de l'hypothèse 2) et reprise ensuite pour chacun des trois sous-groupes cités. En ce qui concerne la température, l'analyse a été faite sur chacun des sous-groupes et non pas pour l'ensemble des données. Ceci s'explique par le fait que les traités de l'hypothèse 1 ont été incubés à une température de 10°C supérieure à leur température d'acclimatation (Tableau 4); ils ne pouvaient être comparés aux témoins et aux traités de l'hypothèse 2 pour une température d'acclimatation correspondante. Les résultats négatifs furent ensuite analysés au moyen de tests de "Q" entre moyennes, afin de préciser les différences existant entre les densités moyennes observées.

#### A- Influence du type de traitement

Le type de traitement subi semble n'avoir eu presque aucune influence sur les densités comme le montre le tableau 16. Dans le cas de Pedias-trum (Tableau 16.A) les résultats montrent qu'il s'est manifesté des variations significatives dans le cas de l'analyse de l'ensemble des données. Les densités moyennes diffèrent selon que la culture considérée est une culture témoin, une culture traitée selon l'hypothèse 1, ou une culture traitée selon l'hypothèse 2. Ces différences ne sont toutefois que très faibles, du fait que les relations déduites entre les densités moyennes se recoupent en bonne partie. Les différences se situent aux extrêmes (1 < 12, 13, 14 et 2, 3, 4, 5, 6 < 14) alors que le bloc central (7, 8, 9, 10, 11) est égal à la fois à chacune des extrêmes (1, 2, 3, 4, 5, 6 et 12, 13, 14). L'ordre des moyennes ne montre pas de tendance vers un type de traitement

TABLEAU 16

Comparaison des densités moyennes atteintes [ C ], selon le type de traitement et résultats de l'analyse de variance

A. Pediastrum ( $\times 10^5$  coenobes/ml)

Situation	Traitement	[ C ]	Rang	Variance	Relations déduites
Témoins	T1	4,088	13	+	Homogénéité
	T2	3,950	12		
	T3	3,598	8		
	T4	3,008	4		
Traités H.1	11	2,968	2	+	Homogénéité
	12A	3,000	3		
	12B	3,690	9		
	12C	3,040	5		
Traités H.2	1A	3,745	10	+	Homogénéité
	1B	3,788	11		
	1C	3,360	14		
	2A	2,635	1		
	2B	3,493	7		
	2C	3,065	6		
Ensemble	---	-----	--	-	1-11; 2-13; 7-14 homogènes

B. Scenedesmus ( $\times 10^6$  coenobes/ml)

Situation	Traitement	[ C ]	Rang	Variance	Relations déduites
Témoins	T1	6,714	4	+	Homogénéité
	T2	6,724	7		
	T3	6,732	9		
	T4	6,765	11		
Traités H.1	11	6,793	13	+	Homogénéité
	12A	6,720	5		
	12B	6,675	1		
	12C	6,690	2		
Traités H.2	1A	6,720	5	+	Homogénéité
	1B	6,730	8		
	1C	6,772	12		
	2A	6,710	3		
	2B	6,744	10		
	2C	6,722	6		
Ensemble	---	-----	--	+	Homogénéité

+ Homogénéité  
- Hétérogénéité

ou un sous-groupe de traitement particulier; les variations semblent s'être effectuées au hasard. Signalons, cependant, que trois des quatre traités de l'hypothèse 1, (11, 12.A, 12.C) se retrouvent en faible position (2, 3 et 5 respectivement). Ces densités moindres seraient ici rattachables aux températures plus élevées d'incubation (les traités de cette hypothèse furent incubés à une température ( $T_{10}$ ) supérieure de  $10^{\circ}\text{C}$  à la température ( $T_0$ ) d'incubation des témoins et des traités de l'hypothèse 2), plutôt qu'au type de traitement comme tel (Tableau 4).

Le fait que les variations s'avèrent significatives dans le cas d'une analyse (de l'ensemble des données) et ne le soient plus dans le cas des autres analyses (chaque sous-groupe), tient au fait que ces variations sont très faibles et distribuées au hasard des traitements. La réduction du nombre de données par analyse entraîne une baisse de résolution de l'épreuve statistique.

En ce qui concerne Scenedesmus (Tableau 16.B), les résultats montrent que les variations de densité finale ne sont pas significatives et ne sont aucunement en relation avec le type de traitement subi. Témoins et traités des deux hypothèses se comportent de façon identique.

Il semble ici, que cette espèce n'a pas été affectée de façon particulière par un traitement plus qu'un autre. L'uniformité des densités finales atteintes chez cette espèce est remarquable, comparée aux variations énormes rencontrées chez Pediastrum. Ce degré de variabilité semble être propre à l'espèce et non pas fonction du traitement subi par celle-ci.

## B- Influence de la température

La température semble avoir influencé les densités finales de façon différente chez les deux espèces, comme en témoignent les résultats du tableau 17. L'algue Pediastrum (Tableau 17.A) a manifesté des variations de densité significatives au sein des trois sous-groupes. Les relations obtenues en comparant les densités moyennes des témoins à chaque température, montrent que la densité atteinte à  $10^{\circ}$  est inférieure à celles obtenues aux quatre autres températures  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  et  $30^{\circ}$ . Au sein des traités de l'hypothèse 2, c'est la même situation qui se répète; les densités supportées à  $10^{\circ}$  furent moindres qu'à température plus élevée ( $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ). Pour les traités de l'hypothèse 1, les résultats indiquent qu'une densité moindre fut atteinte à  $25^{\circ}$  comparativement à celles des trois autres températures  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  et  $20^{\circ}$ . Parmi ces trois densités, la valeur à  $10^{\circ}$  est égale à la fois à celles à  $15^{\circ}$  et  $20^{\circ}$ , alors que cette dernière est inférieure à celle à  $15^{\circ}$ .

L'algue Scenedesmus a également manifesté des variations de densité au sein des trois sous-groupes (Tableau 17.B). Les relations déduites entre les densités moyennes à chaque température, pour les témoins, montrent que la valeur atteinte à  $10^{\circ}$  est inférieure à celles atteintes à  $20^{\circ}$  et  $25^{\circ}$ , tout en étant égale à celles atteintes à  $15^{\circ}$  et  $30^{\circ}$ . Les densités sont égales aux quatre températures  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  et  $30^{\circ}$ .

Ces mêmes relations, au sein des traités de l'hypothèse 2, montrent que la densité à  $10^{\circ}$  est plus faible que celles des quatre autres températures  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  et  $30^{\circ}$ . Parmi celles-ci, la valeur à  $15^{\circ}$  est

TABLEAU 17

Densités moyennes atteintes par les cultures, selon la température  
et résultats de l'analyse de variance

A. Pediastrum ( $\times 10^5$  coenobes/ml)

Situation	Variance	Température ( $^{\circ}\text{C}$ )					Relations déduites
		$10^0$	$15^0$	$20^0$	$25^0$	$30^0$	
Témoins	-	1,958	3,163	2,995	3,615	2,913	$10^0 < 15^0 = 20^0 = 25^0 = 30^0$
Traités H.1	-	3,478	3,743	3,108	2,370	-----	$10^0 = 20^0 > 25^0$ ; $10^0 = 15^0 > 25^0$ ; $15^0 > 20^0$
Traités H.2	-	2,060	2,758	2,998	3,172	2,892	$10^0 < 15^0 = 20^0 = 25^0 = 30^0$

B. Scenedesmus ( $\times 10^6$  coenobes/ml)

Situation	Variance	Température ( $^{\circ}\text{C}$ )					Relations déduites
		$10^0$	$15^0$	$20^0$	$25^0$	$30^0$	
Témoins	-	6,643	6,715	6,797	6,800	6,725	$15^0 = 20^0 = 25^0 = 30^0$ ; $10^0 = 15^0 = 30^0$ ; $10^0 < 20^0 = 25^0$
Traités H.1	-	6,720	6,788	6,798	6,548	-----	$10^0 = 15^0 = 20 > 25^0$
Traités H.2	-	6,625	6,715	6,777	6,815	6,733	$10^0 < 15^0 = 20^0 = 30^0$ ; $10^0 < 20^0 = 25^0 = 30^0$ ; $15^0 < 25^0$

+ Homogénéité

- Hétérogénéité



inférieure à celle à  $25^{\circ}$ , alors que chacune d'elles est égale à celles de  $20^{\circ}$  et  $30^{\circ}$ .

Pour les traités de l'hypothèse 1 les résultats indiquent que la densité atteinte à  $25^{\circ}$  est inférieure à celles atteintes aux trois autres températures  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  et  $20^{\circ}$ .

Ces données ont été ensuite portées sur graphiques afin de mieux visualiser les tendances distinguant chacun des deux groupes de traités du groupe témoin. Les variations relatives furent d'abord calculées et apparaissent sur le tableau 18.

La figure 17 illustre les variations de densité moyenne des témoins aux cinq températures d'acclimatation. Le patron d'ensemble est sensiblement le même pour les deux espèces; augmentation de  $10^{\circ}$  à  $25^{\circ}$ , où se situe la valeur maximale, suivie d'une baisse à  $30^{\circ}$ . Dans le cas de Scenedesmus, la densité atteinte à  $20^{\circ}$  ( $6,797 \times 10^6$  coenobes/ml) ne diffère presque pas de celle atteinte à  $25^{\circ}$  ( $6,800 \times 10^6$  coenobes/ml). La densité optimale se situerait vraisemblablement entre ces deux températures. La température à laquelle la densité optimale est atteinte est moindre chez cette espèce que chez Pediastrum.

Il est à remarquer que chez Pediastrum, la densité atteinte à  $15^{\circ}$  est supérieure à celle obtenue à  $20^{\circ}$ ; rappelons que le même phénomène a été observé au niveau des taux de croissance spécifiques (Article 2.A, section II).

Les variations entre témoins et traités de l'hypothèse 1 sont illustrées sur la figure 18 pour les valeurs relatives et sur la figure 19

TABLEAU 18

Comparaison des densités moyennes atteintes par les cultures traitées selon les hypothèses 1 et 2, aux densités moyennes des témoins, selon la température ( $^{\circ}\text{C}$ )

A. Pediastrum ( $\times 10^5$  coenobes/ml)

$T^{\circ}$	Témoin	Traités H.1	Traités H.2	Variation H.1 (%)	Variation H.2 (%)
$10^{\circ}$	1,958	3,478	2,060	+ 78	+ 5
$15^{\circ}$	3,163	3,743	2,758	+ 2	- 13
$20^{\circ}$	2,995	3,108	2,998	+ 4	< + 1
$25^{\circ}$	3,615	2,370	3,172	- 34	- 12
$30^{\circ}$	2,913	-----	2,892	Ind.	- 1

B. Scenedesmus ( $\times 10^6$  coenobes/ml)

$T^{\circ}$	Témoin	Traités H.1	Traités H.2	Variation H.1 (%)	Variation H.2 (%)
$10^{\circ}$	6,643	6,720	6,625	+ 1	< - 1
$15^{\circ}$	6,715	6,788	6,715	+ 1	0
$20^{\circ}$	6,797	6,798	6,777	< + 1	< - 1
$25^{\circ}$	6,800	6,548	6,815	- 4	< + 1
$30^{\circ}$	6,725	-----	6,733	Ind.	< + 1

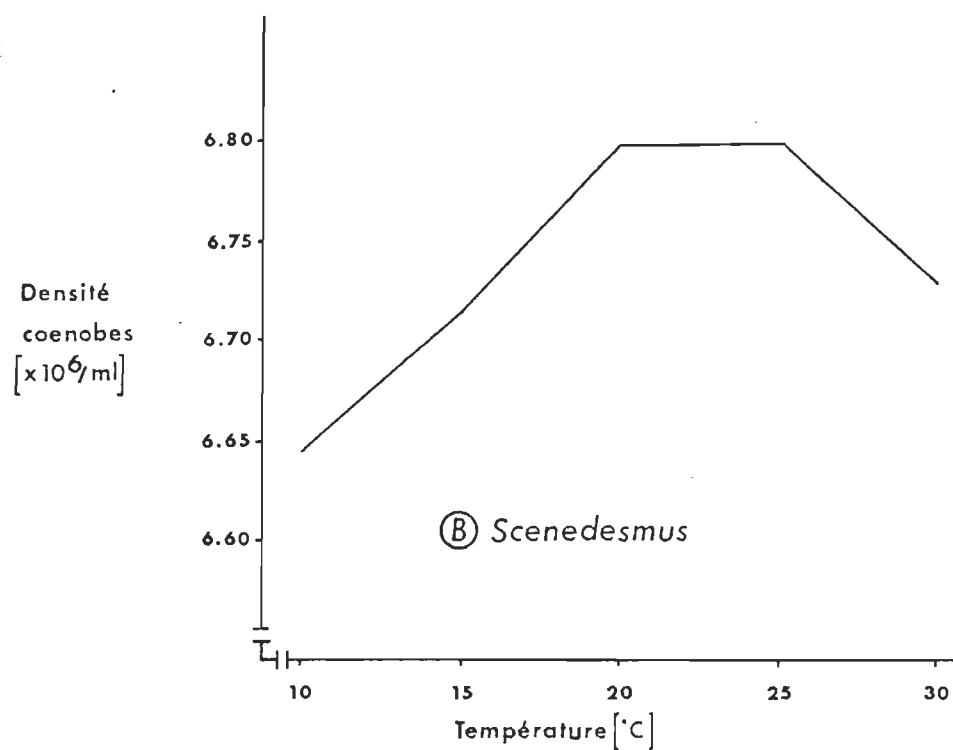
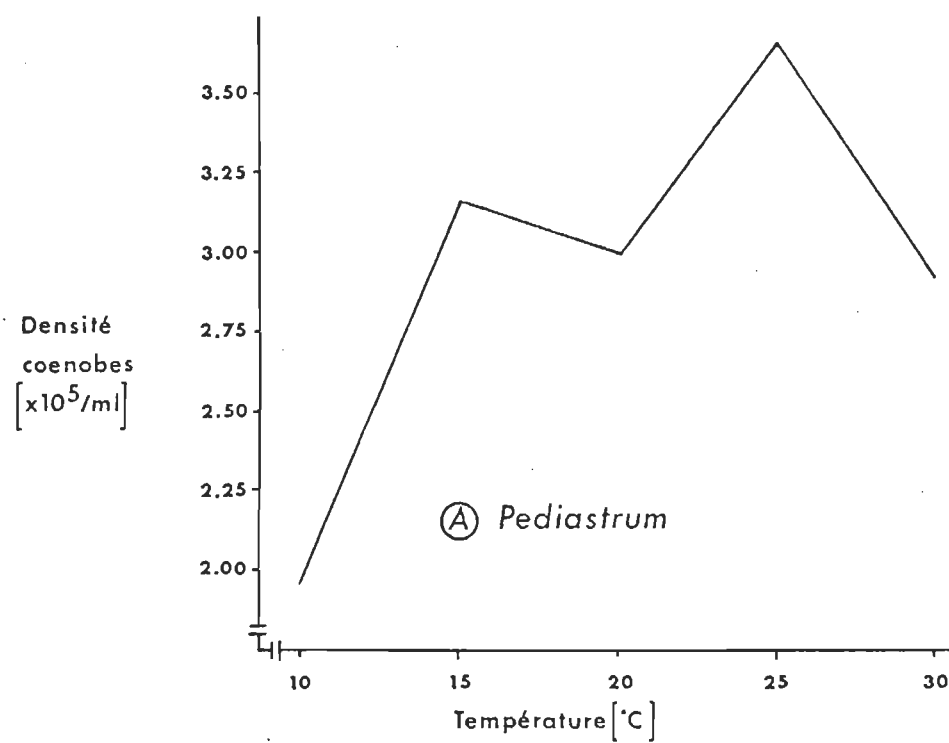


Figure 17.- Densités moyennes atteintes par les cultures témoins, selon la température

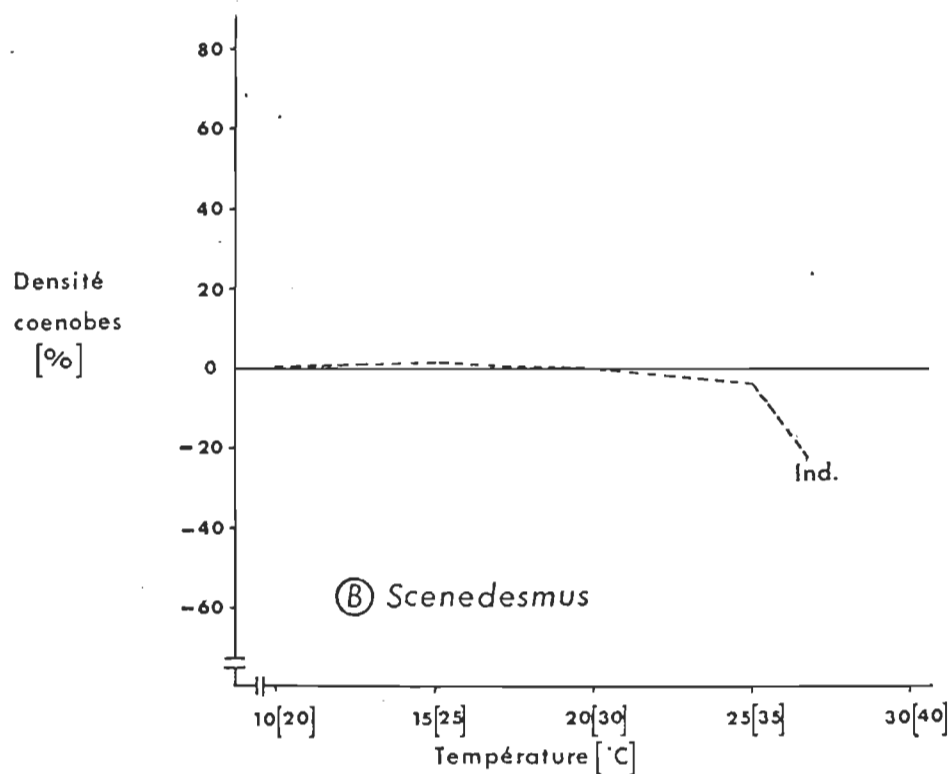
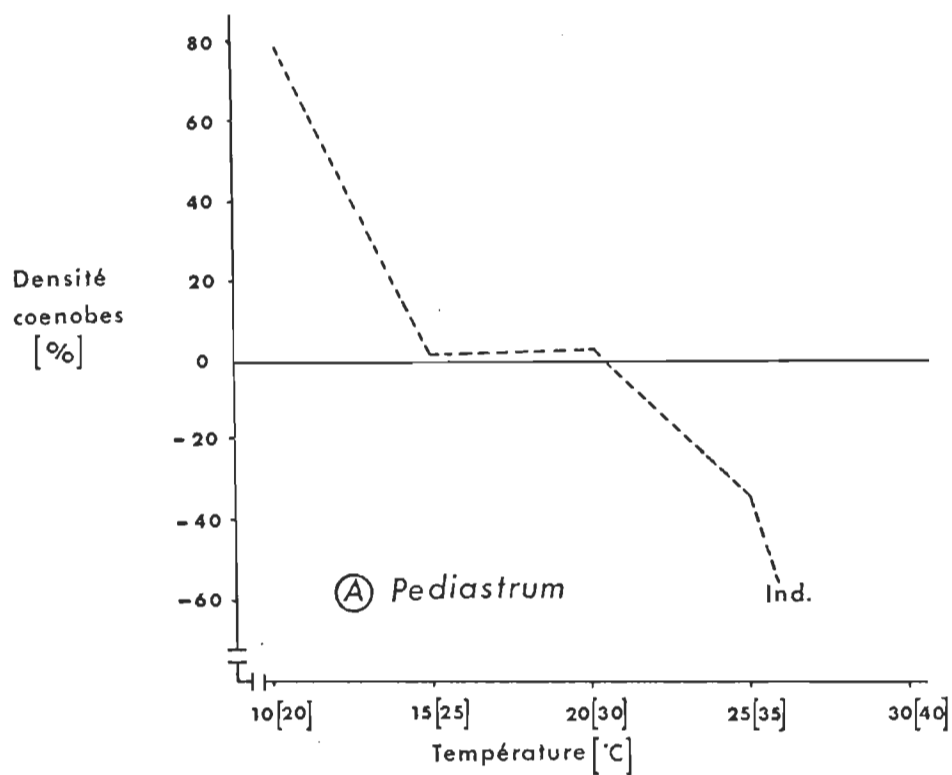


Figure 18.- Densités moyennes relatives (%) atteintes par les cultures traitées selon l'hypothèse 1 (---) et les cultures témoins (—), selon la température d'acclimatation et d'incubation (entre parenthèses)

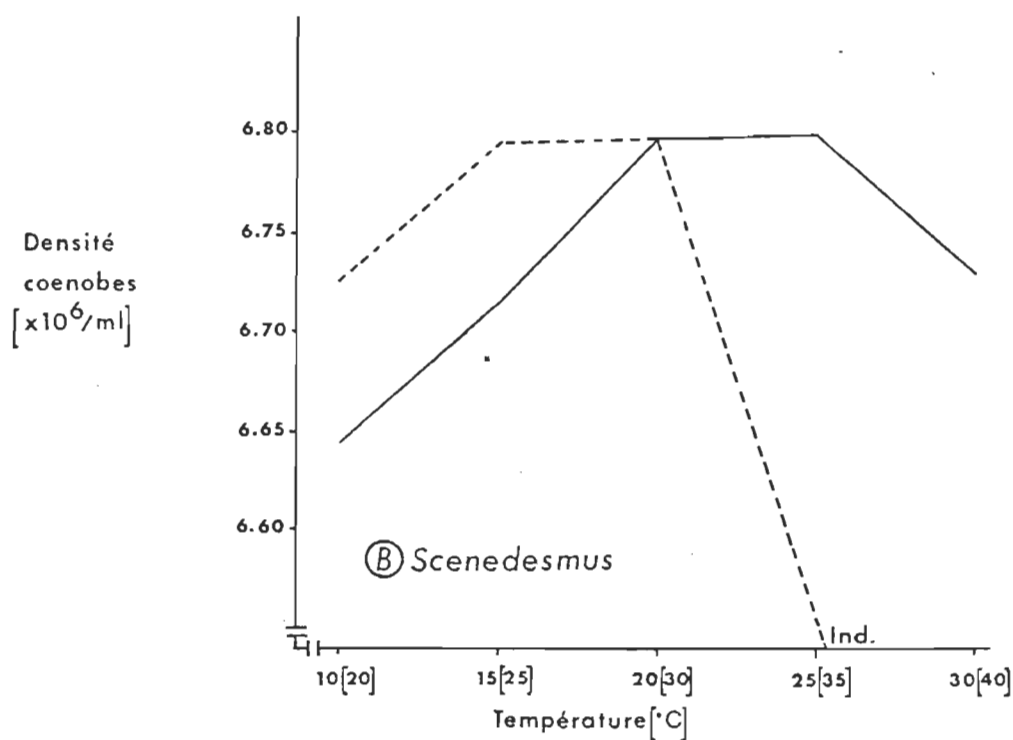
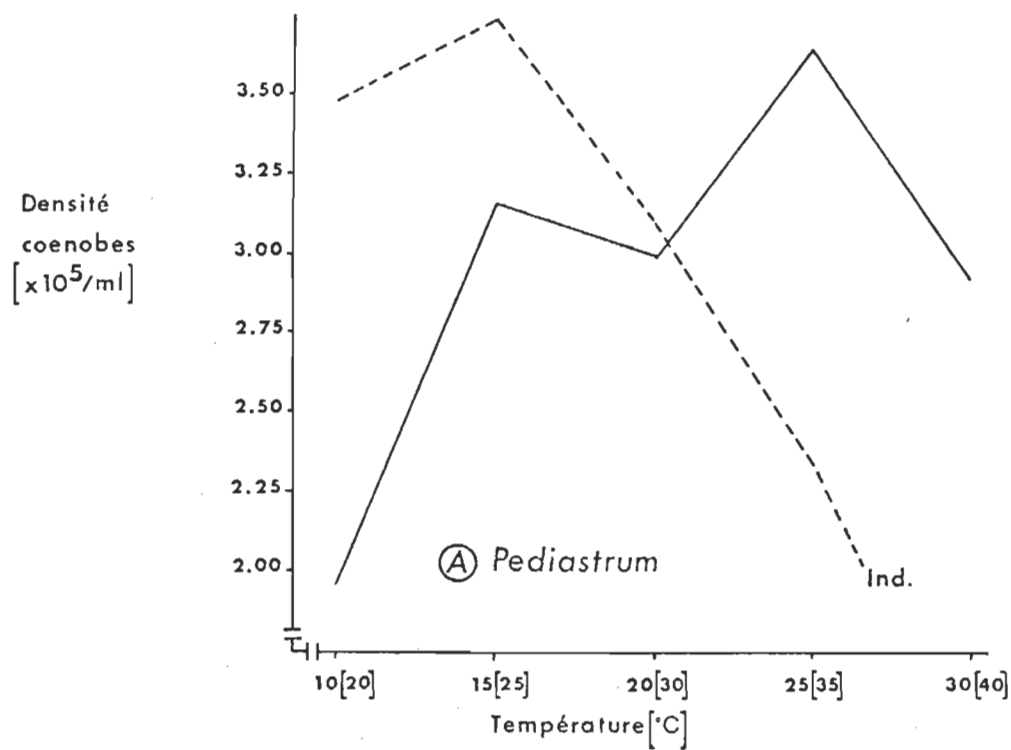


Figure 19.- Densités moyennes atteintes par les cultures traitées selon l'hypothèse 1 (---) et les cultures témoins (—), selon la température d'acclimatation et d'incubation (entre parenthèses)

pour les valeurs absolues. Il semble que le type de traitement agisse de la même façon chez les deux espèces malgré de fortes différences d'intensité. L'effet provoqué est une hausse de densité à basse température; 78, 2 et 4% pour Pediastrum et 1, 1 et 1% pour Scenedesmus, aux températures respectives de  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  et  $20^{\circ}$ . A température élevée, cet effet devient négatif; -34 et -4% à  $25^{\circ}$  pour Pediastrum et Scenedesmus respectivement. A  $30^{\circ}$ , l'effet est léthal: les cultures meurent cependant plus tôt chez Scenedesmus que chez l'autre espèce, ce qui nous permet de croire à un effet négatif plus grand chez cette algue que chez Pediastrum.

L'effet entraîné par les traitements de l'hypothèse 2 est illustré par la figure 20, en ce qui concerne les valeurs relatives et par la figure 21, pour ce qui est des valeurs absolues. Cet effet est presque nul chez Scenedesmus (< 1%), mais les variations sont plus importantes chez l'autre espèce (-13% à  $15^{\circ}$  et -12% à  $25^{\circ}$ ). Ces variations, chez Pediastrum, ne sont toutefois sans doute pas significatives, étant moindres que celles enregistrées par cette même espèce au sein des trois sous-groupes représentés (Tableau 17.A). Le type de traitement 2 n'a donc pas eu d'effet significatif sur les densités finales atteintes par ces cultures, comparativement aux cultures témoins.

Une dernière analyse des densités atteintes par les cultures selon les températures, a permis de révéler certaines tendances très nettes. La première tendance est une augmentation de densité entre une faible température ( $10^{\circ}$ ) et une température optimale ( $25^{\circ}$ ). Celle-ci est facilement observable dans les deux sous-groupes des témoins et des traités de l'hy-

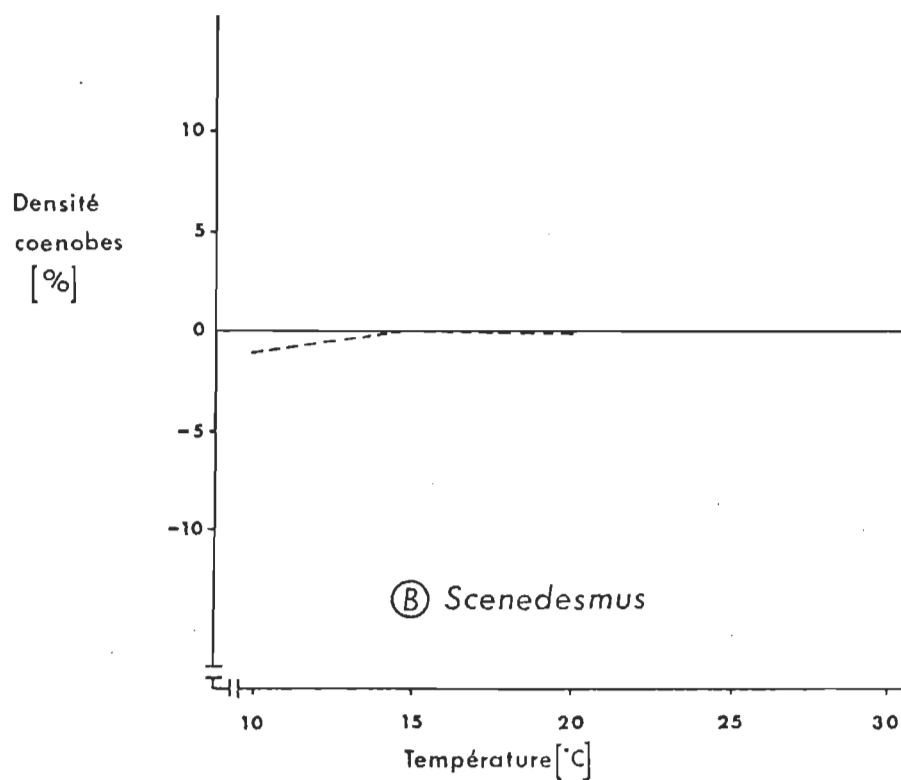
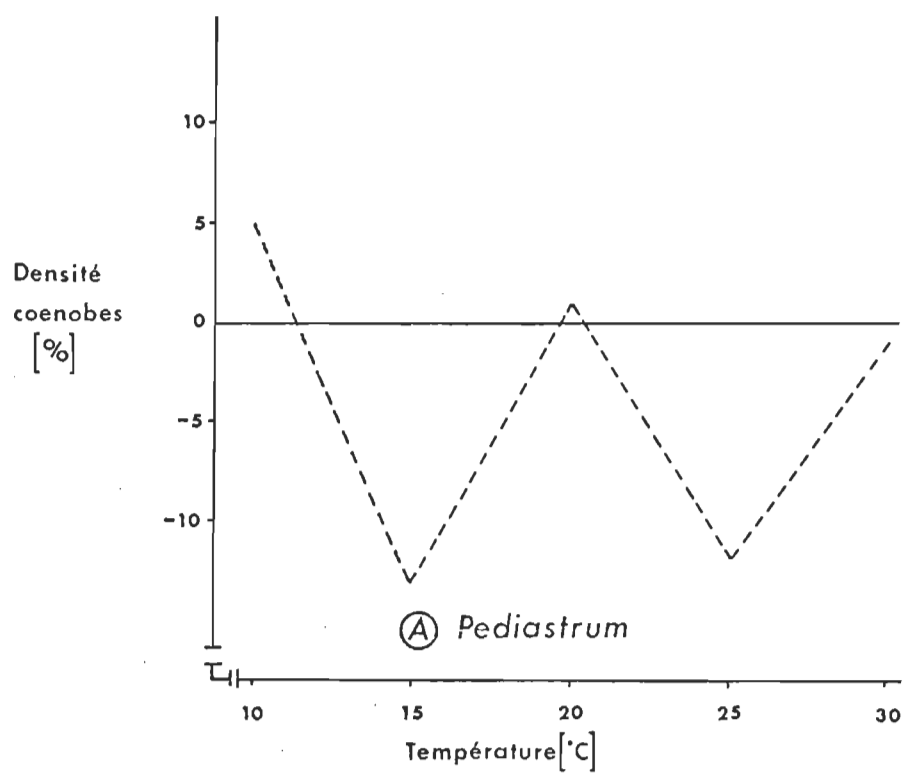


Figure 20.- Densités moyennes relatives (%) atteintes par les cultures traitées selon l'hypothèse 2 (---) et les cultures témoins (—)

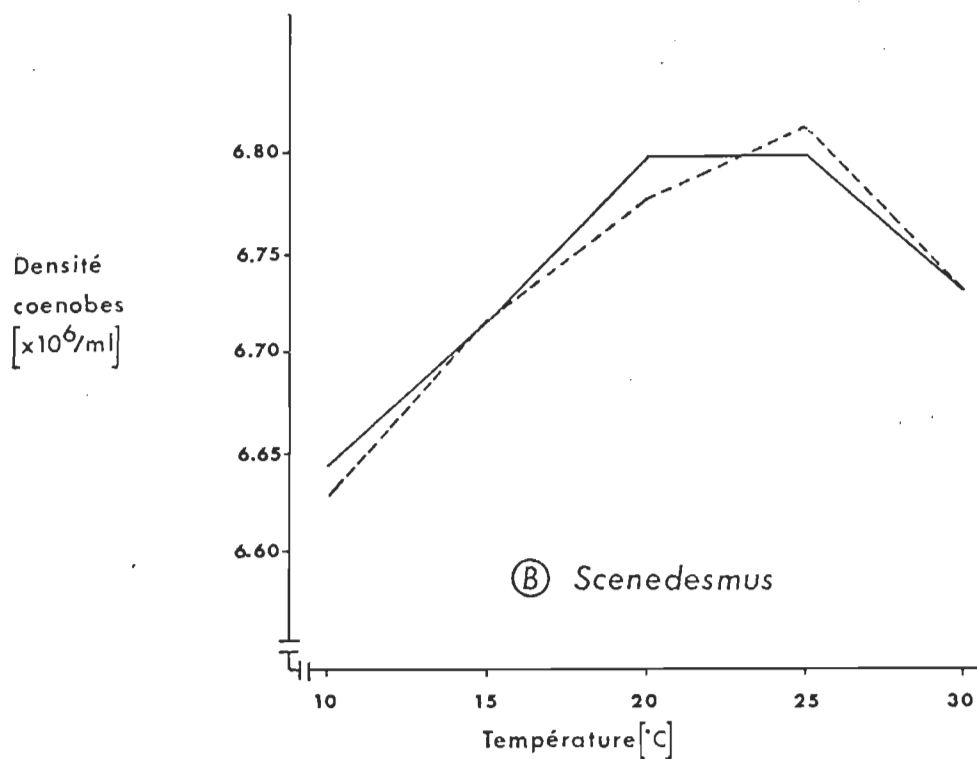
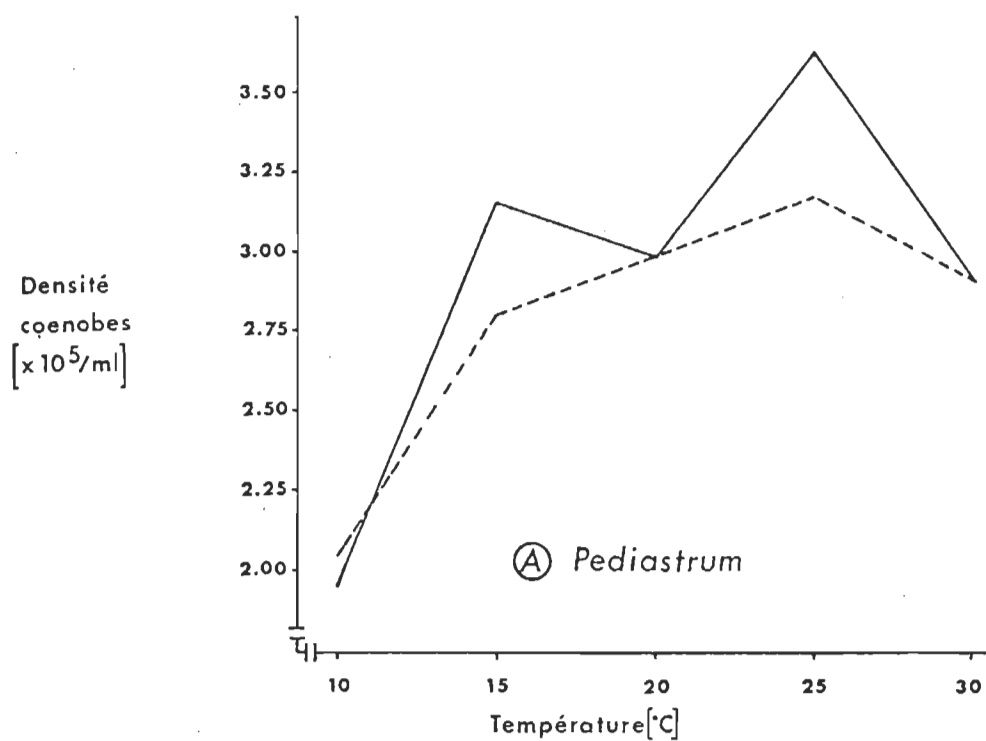


Figure 21.- Densités moyennes atteintes par les cultures traitées selon l'hypothèse 2 (---) et les cultures témoins (—)



pothèse 2 (Tableau 18).

A  $10^{\circ}$ , les densités sont toutes significativement moindres qu'aux autres températures  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  et  $30^{\circ}$ . A  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$  et  $25^{\circ}$ , les densités vont croissant de façon continue, sauf pour Pediastrum, où chez les témoins, la densité atteinte à  $15^{\circ}$  est supérieure à celle à  $20^{\circ}$ . Cette augmentation est toutefois faible, car dans certains cas (chez Pediastrum surtout), l'analyse de variance n'a pu établir de différences significatives entre les densités enregistrées à ces trois températures (Tableau 17).

Les coefficients de corrélation entre ces densités et les températures correspondantes ont été calculés; pour l'intervalle  $10^{\circ} - 25^{\circ}$ . Ils furent de 0,8851 pour les témoins, et de 0,9452 pour les traités de l'hypothèse 2, chez Pediastrum, alors que chez Scenedesmus, ces mêmes résultats furent de 0,9518 et de 0,9835 respectivement. Les variations de densité sont donc en relation étroite avec la température: les coefficients de régression furent de 0,096 et 0,072 pour Pediastrum et de 0,011 et 0,013 pour Scenedesmus, pour les témoins et les traités de l'hypothèse 2 respectivement (Figure 22 et 23). Chez cette première espèce, les témoins profitent plus de l'élévation de température (de 1,958 à  $3,615 \times 10^5$  coenobes/ml) que les traités de l'hypothèse 2 (de 2,060 à  $3,172 \times 10^5$  coenobes/ml), alors que chez la seconde les variations sont sensiblement égales (de 6,643 à  $6,800 \times 10^6$  coenobes/ml pour les témoins, et de 6,625 à  $6,815 \times 10^6$  coenobes/ml pour les traités de l'hypothèse 2) (Tableau 18).

La seconde tendance dégagée est que la densité atteinte va diminuant

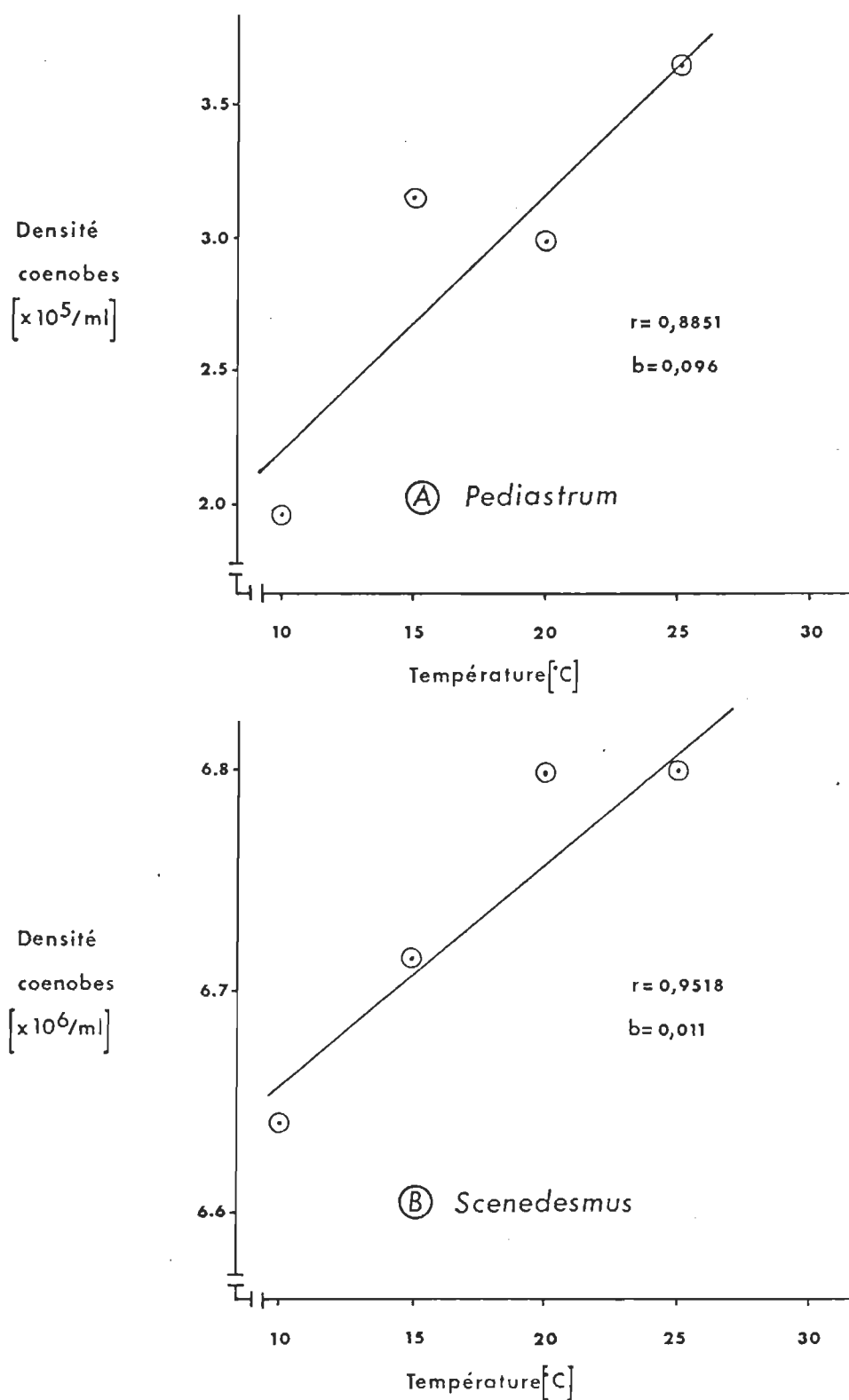


Figure 22.- Droites de régression illustrant la relation entre les densités finales moyennes atteintes par les cultures témoins, selon la température

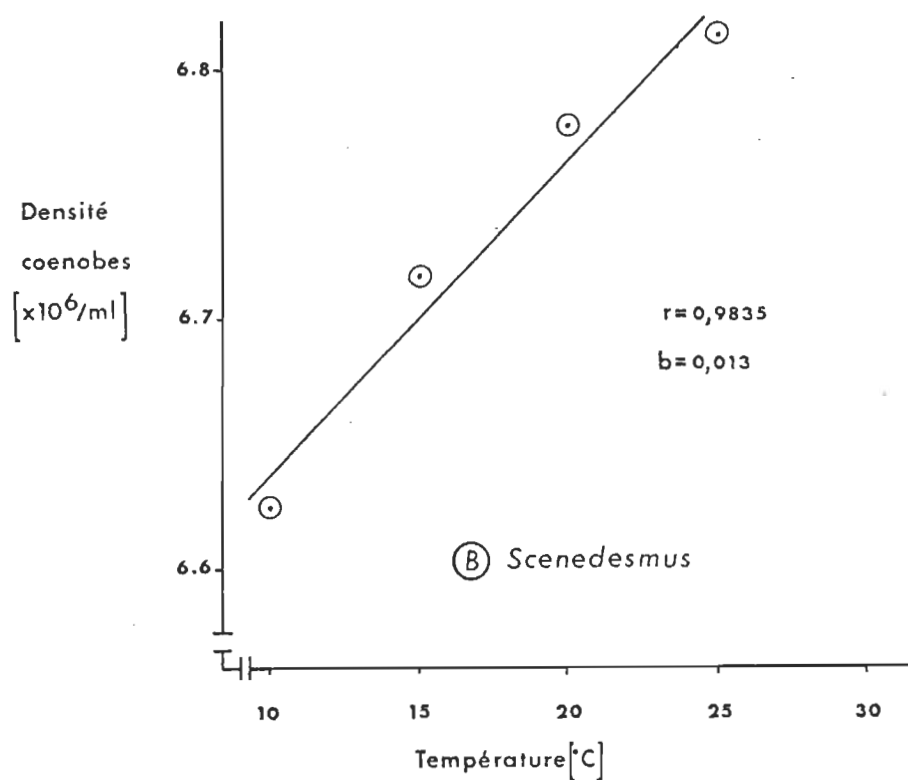
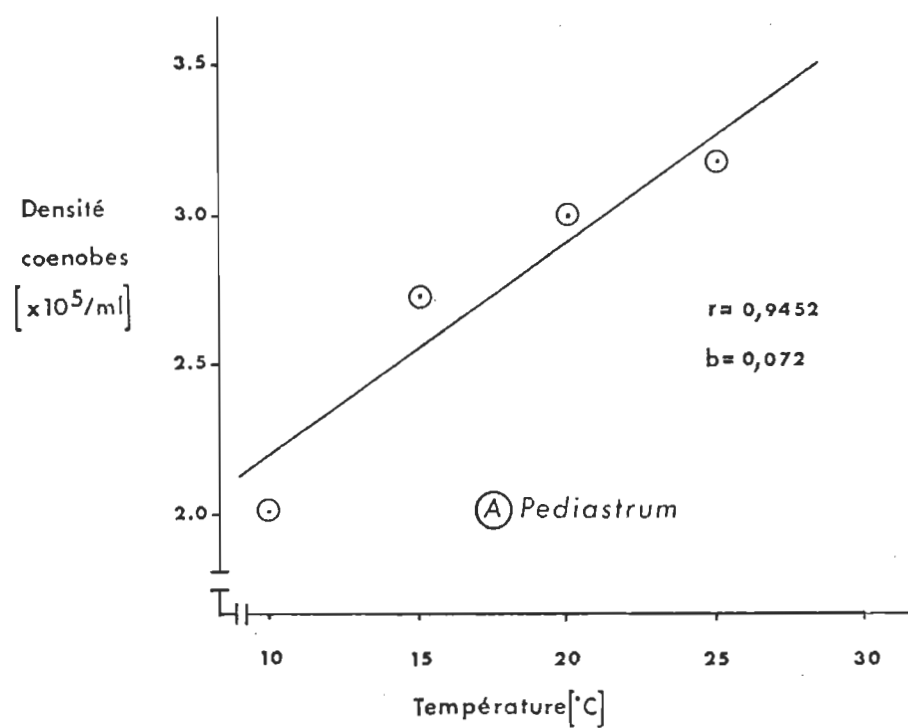


Figure 23.- Droites de régression illustrant la relation entre les densités finales moyennes atteintes par les cultures traitées selon l'hypothèse 2, selon la température

aux températures supérieures à  $25^{\circ}\text{C}$ . A  $30^{\circ}$ , la densité se situe entre celles atteintes à  $20^{\circ} - 25^{\circ}$  et celles atteintes à  $10^{\circ} - 15^{\circ}$ , pour les sous-groupes des témoins et des traités de l'hypothèse 2 (Tableau 18). Le témoin Pediastrum à  $15^{\circ}$  fait exception, étant de valeur plus élevée qu'à  $30^{\circ}$ . Cette tendance se continue aux températures de  $35^{\circ}$  et  $40^{\circ}\text{C}$ , comme le montrent les résultats du sous-groupe des traités de l'hypothèse 1 (Tableau 18). Rappelons à nouveau ici, que les traités de cette hypothèse furent incubés à une température de  $10^{\circ}$  supérieure à leur température d'acclimatation; les températures d'acclimatation de  $25^{\circ}$  et  $30^{\circ}$  correspondent donc à des températures d'incubation de  $35^{\circ}$  et  $40^{\circ}$  respectivement. Pour Pediastrum, la chute de densité débute à partir de  $30^{\circ}$ , alors que cette chute ne débute qu'à  $35^{\circ}$  chez Scenedesmus. Chez les deux espèces, les cultures meurent en quelque temps à  $40^{\circ}$ , et montrent des signes de dégénérescence à  $35^{\circ}$ .

Les coefficients de corrélation entre les densités et les températures correspondantes furent calculés pour l'intervalle  $25^{\circ} - 35^{\circ}$  (traités H.1 de  $15^{\circ}$  à  $25^{\circ}$ ). Ils furent de  $-0,9991$  et de  $-0,8478$ , pour Pediastrum et Scenedesmus respectivement; les coefficients de régression correspondants furent de  $-0,137$  et de  $-0,024$  (Figure 24). Il semble donc que la baisse de densité avancée à  $30^{\circ}$  chez Pediastrum soit plus accentuée (de  $3,743$  à  $2,370 \times 10^5$  coenobes/ml que celle avancée à  $35^{\circ}$  ( $6,798$  à  $6,548 \times 10^6$  coenobes/ml) chez Scenedesmus (Tableau 18). Cette constatation va à l'opposé de celle faite lors de l'étude des taux de croissance spécifiques, à savoir que Pediastrum tolérât mieux les températures élevées que Scene-

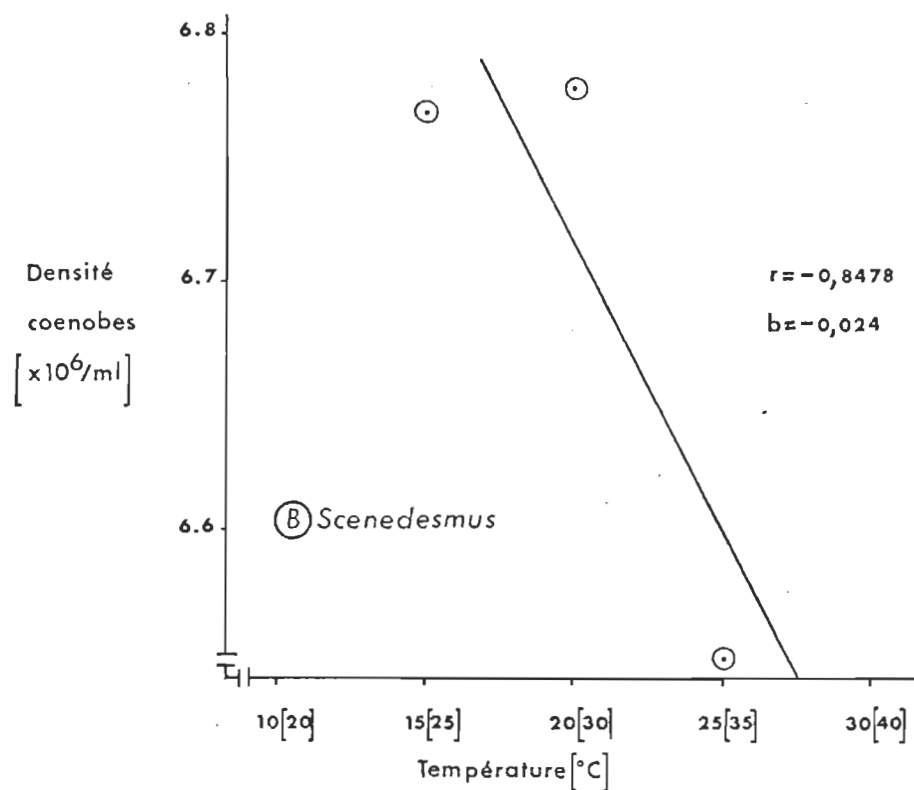
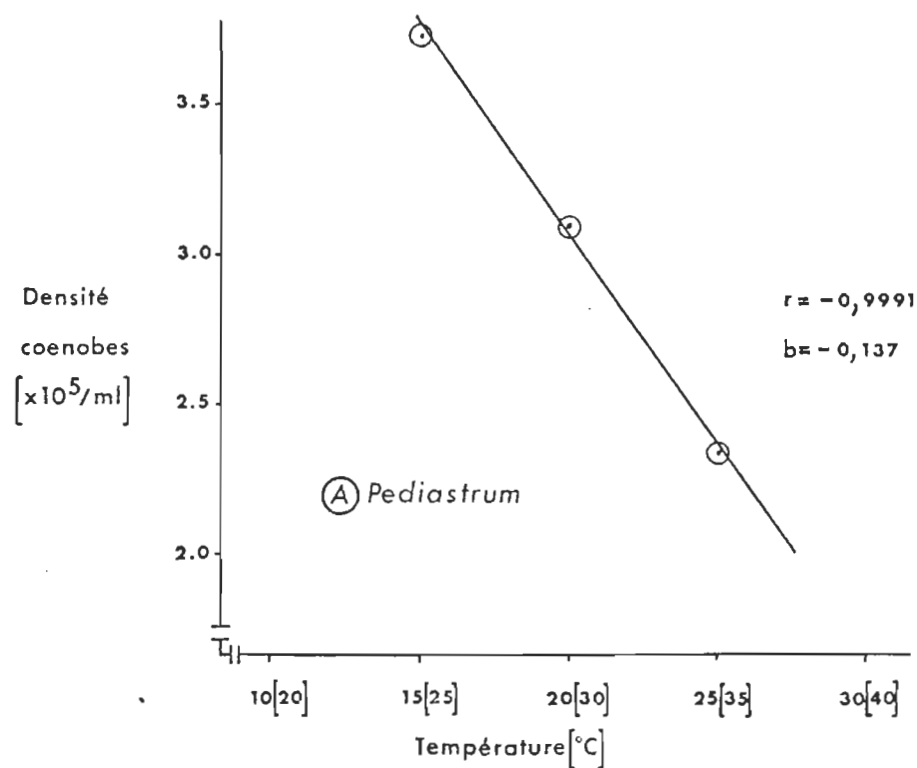


Figure 24.- Droites de régression illustrant la relation entre les densités finales moyennes atteintes par les cultures traitées selon l'hypothèse 1, selon la température d'acclimatation et d'incubation (entre parenthèses)

desmus. Le temps d'incubation semble ici être la cause de cette différence: l'effet néfaste de la température alors trop élevée, se manifesterait après un certain délai (plus de 5 jours), ce qui expliquerait, chez Pediastrum, que le taux de croissance soit encore élevé à 30<sup>o</sup>, alors que la densité est sensiblement réduite. Un effet similaire a déjà été relevé, concernant l'effet d'une période d'acclimatation sur les taux de croissance spécifiques à 35<sup>o</sup>.

#### 4- Temps

Les temps requis pour atteindre les densités finales sont illustrés dans le tableau 19.A dans le cas de Pediastrum et dans le tableau 19.B pour ce qui est de Scenedesmus.

Les variations semblent légèrement moindres dans l'ensemble chez Pediastrum que chez l'autre espèce étudiée. Cette première a présenté des écarts maxima de 13 à 16 jours, autant au sein des cultures témoins que des cultures traitées, ce qui représente une variation relative de +23%. La valeur moyenne de l'ensemble fut de 14,1 jours. Chez Scenedesmus ces mêmes écarts furent de 10 à 14 jours au sein des témoins, pour une variation relative de +40%: de 9 à 14 jours au sein des traités pour une variation relative de +56%. La valeur moyenne de l'ensemble fut de 12,0 jours. Il semble donc que Pediastrum atteigne ses densités finales en des temps plus réguliers que l'autre espèce. Les mêmes épreuves que celles utilisées dans l'analyse des densités finales atteintes (Article 3) furent appliquées ici afin de déterminer si ces variations de temps étaient en relation avec le type de traitement ou la température.

##### A- Influence du type de traitement

Le type de traitement subi semble n'avoir nullement influencé les temps d'atteinte des densités finales, comme le montre le tableau 20.

Dans le cas de Pediastrum (Tableau 20.A) tous les résultats des analyses de variance sont positifs; il n'y a donc aucune différence significative entre les moyennes de temps correspondant à chacun des types

TABLEAU 19

Temps requis (jours) par les cultures pour l'atteinte des densités finales en phase stationnaire, selon le type de traitement et la température

A. Pediastrum

Situation	Traitement	Température (°C)				
		10 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
Témoins	T1	14	14	14	14	14
	T2	16	14	14	14	14
	T3	13	16	14	14	13
	T4	15	13	14	14	14
Hypothèse 1	11	14	14	14	14	14
	12A	15	14	15	14	14
	12B	15	14	14	14	14
	12C	15	14	13	14	13
Hypothèse 2	1A	14	14	14	14	13
	1B	14	14	14	14	13
	1C	14	14	14	14	14
	2C	14	14	15	13	14
	2B	16	14	14	14	14
	2C	16	13	14	13	14

B. Scenedesmus

Situation	Traitement	Température (°C)				
		10 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>
Témoins	T1	13	12	13	11	12
	T2	12	12	14	11	11
	T3	12	11	12	12	10
	T4	14	13	--	13	13
Hypothèse 1	11	11	11	12	12	--
	12A	12	12	14	10	--
	12B	12	12	11	11	--
	12C	11	11	12	11	--
Hypothèse 2	1A	14	13	12	11	11
	1B	13	11	12	10	9
	1C	12	11	13	11	13
	2A	11	10	14	13	11
	2B	13	11	14	13	10
	2C	14	13	14	12	13



TABLEAU 20

Temps moyens requis (jours) par les cultures pour l'atteinte des densités finales en phase stationnaire, selon le type de traitement et résultats de l'analyse de variance

A. Pediastrum

Situation	Traitement	Temps	Rang	Variance	Relations déduites
Témoins	T1	14,0	2	+	Homogénéité
	T2	14,4	4		
	T3	14,0	2		
	T4	14,0	2		
Traitées H.1	11	14,0	2	+	Homogénéité
	12A	14,4	4		
	12B	14,2	3		
	12C	14,0	2		
Traitées H.2	1A	13,8	1	+	Homogénéité
	1B	13,8	1		
	1C	14,0	2		
	2A	14,0	2		
	2B	14,2	3		
	2C	14,0	2		
Ensemble	---	---	---	+	Homogénéité

B. Scenedesmus

Situation	Traitement	Temps	Rang	Variance	Relations déduites
Témoins	T1	15,3	9	+	Homogénéité
	T2	15,0	8		
	T3	14,3	6		
	T4	13,3	4		
Traitées H.1	11	11,5	2	+	Homogénéité
	12A	12,0	3		
	12B	11,5	2		
	12C	11,3	1		
Traitées H.2	1A	15,3	9	+	Homogénéité
	1B	13,8	5		
	1C	15,0	8		
	2A	14,8	7		
	2B	15,3	9		
	2C	16,5	10		
Ensemble	---	---	---	+	Homogénéité

+ Homogénéité

- Hétérogénéité

de traitement. Les cultures ne sont pas influencées par le traitement subi et arrivent en même temps aux densités finales enregistrées en phase stationnaire.

La situation est la même chez Scenedesmus (Tableau 20.B) et les mêmes constatations s'appliquent. Signalons toutefois, que la variabilité est plus grande ici (de 11,3 à 16,5 jours) que chez Pediastrum (de 13,8 à 14,4 jours). Ces niveaux de variabilité semblent n'être pas dus aux traitements, puisqu'ils sont du même ordre au sein des témoins, mais seraient plutôt caractéristiques de chaque espèce.

#### B- Influence de la température

La température, comme le type de traitement, semble n'avoir aucunement influencé les temps d'atteintes comme le montre le tableau 21.

En ce qui concerne Pediastrum, tous les résultats des analyses de variances sont positifs; il n'y a donc aucune différence entre les temps moyens à chacune des diverses températures (Tableau 21.A). Les cultures, qu'elles soient incubées à l'une ou l'autre de ces températures, atteignent les densités finales (phase stationnaire) en même temps.

La situation est la même chez Scenedesmus (Tableau 21.B) et les mêmes constatations s'appliquent à nouveau. Signalons encore le degré de variabilité plus élevé chez cette espèce (de 11,0 à 12,8 jours) que chez Pediastrum (de 13,7 à 14,8 jours).

Les temps requis pour atteindre les densités correspondant à la phase stationnaire ne sont donc pas affectés de façon significative par les traitements subis ou la température d'incubation.

TABLEAU 21

Temps moyens (jours) requis par les cultures pour l'atteinte des densités en phase stationnaire, selon la température et résultats de l'analyse de variance

A. Pediastrum

Situation	Variance	Température (°C)					Relations déduites
		10 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>	
Témoins	+	14,5	14,3	14,0	14,0	13,8	10 <sup>0</sup> = 15 <sup>0</sup> = 20 <sup>0</sup> = 25 <sup>0</sup> = 30 <sup>0</sup>
Traités H.1	+	14,8	14,0	14,0	14,0	----	10 <sup>0</sup> = 15 <sup>0</sup> = 20 <sup>0</sup> = 25 <sup>0</sup>
Traités H.2	+	14,7	13,8	14,2	13,7	13,7	10 <sup>0</sup> = 15 <sup>0</sup> = 20 <sup>0</sup> = 25 <sup>0</sup> = 30 <sup>0</sup>

B. Scenedesmus

Situation	Variance	Température (°C)					Relations déduites
		10 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>	
Témoins	+	12,8	12,5	13,0	11,8	11,5	10 <sup>0</sup> = 15 <sup>0</sup> = 20 <sup>0</sup> = 25 <sup>0</sup> = 30 <sup>0</sup>
Traités H.1	+	11,5	11,5	12,3	11,0	----	10 <sup>0</sup> = 15 <sup>0</sup> = 20 <sup>0</sup> = 25 <sup>0</sup>
Traités H.2	+	12,8	11,5	13,2	11,7	11,2	10 <sup>0</sup> = 15 <sup>0</sup> = 20 <sup>0</sup> = 25 <sup>0</sup> = 30 <sup>0</sup>

+ Homogénéité  
- Hétérogénéité

### III- DISCUSSION

Il importe, au début de cette discussion, de faire ressortir les limitations à imposer quant à l'interprétation des résultats obtenus. Dans l'établissement des méthodes de culture, nous avons voulu rester le plus près possible des conditions écologiques du milieu, compte tenu de nos objectifs généraux. C'est pourquoi nous avons choisi des espèces algales du secteur de Gentilly (et non pas des espèces provenant de cultures axéniques venues d'ailleurs). Ces cultures auraient fourni des organismes physiologiquement différents de ceux rencontrés ici. Nos cultures n'ont pu être rendues axéniques. Cette condition axénique ne se rencontre de toute façon pas en nature; les bactéries sont présentes et coexistent avec les algues de façon paisible semble-t-il.

Les interactions possibles entre algues et bactéries relevées par Alexander (1971) seraient de deux types; le neutralisme et le commensalisme. Dans le premier cas, le taux de croissance ainsi que les densités finales des deux populations sont les mêmes en culture mixte qu'en culture axénique. Cette relation a été observée dans des cultures doubles incluant algues et bactéries "in vitro" (Parker & Turner, 1961). Dans le second cas, les bactéries bénéficient des rejets extracellulaires des algues provenant de leur activité métabolique. Jusqu'à 50% du carbone assimilé par photosynthèse peut être ainsi rejeté dans le milieu. Plusieurs études ont montré qu'un grand nombre de bactéries peuvent être ainsi sup-

portées. La figure 25 (Vela & Guerra, 1966) montre les cinétiques de croissance comparatives des deux types d'organismes présents au sein d'une même culture. Le décalage entre les deux courbes montre la dépendance des bactéries vis-à-vis les algues.

Il semble que le neutralisme se présente quand les densités sont faibles, la nourriture abondante et les besoins pour la croissance des deux espèces suffisamment différents qu'elles n'interagissent pas (compétition) pour les nutriments limitants ou autres besoins communs. Cette situation décrirait plutôt bien le milieu naturel. En culture, le commensalisme serait la forme de relation prévalente. Une étude de la flore bactérienne associée aux cultures de Scenedesmus a été réalisée afin de préciser la nature et la composition de celle-ci (Trudel, 1977). Il en est ressorti (Appendice F) un nombre de 10 souches bactériennes dont 9 d'entre elles ont pu être identifiées au genre. Ces types de bactéries se retrouvent le plus souvent en milieu aquatique. Aucune souche ne présentait le caractère phototrophe; elles étaient toutes chemoorganotrophes. Elles ne pouvaient se suffire et croître en milieu inorganique (même en présence de lumière); elles nécessitaient l'apport de composés organiques. Finalement, elles étaient toutes soit aérobiques strictes (5 souches), soit anaérobiques facultatives (5 souches); elles poussaient donc toutes bien en présence d'oxygène. Il semble donc, à la lumière de ces caractéristiques, que le commensalisme soit la relation ayant existé entre les algues et les bactéries en culture. Ces algues auraient été, croyons-nous, peu affectées par la présence de bactéries puisque les cul-

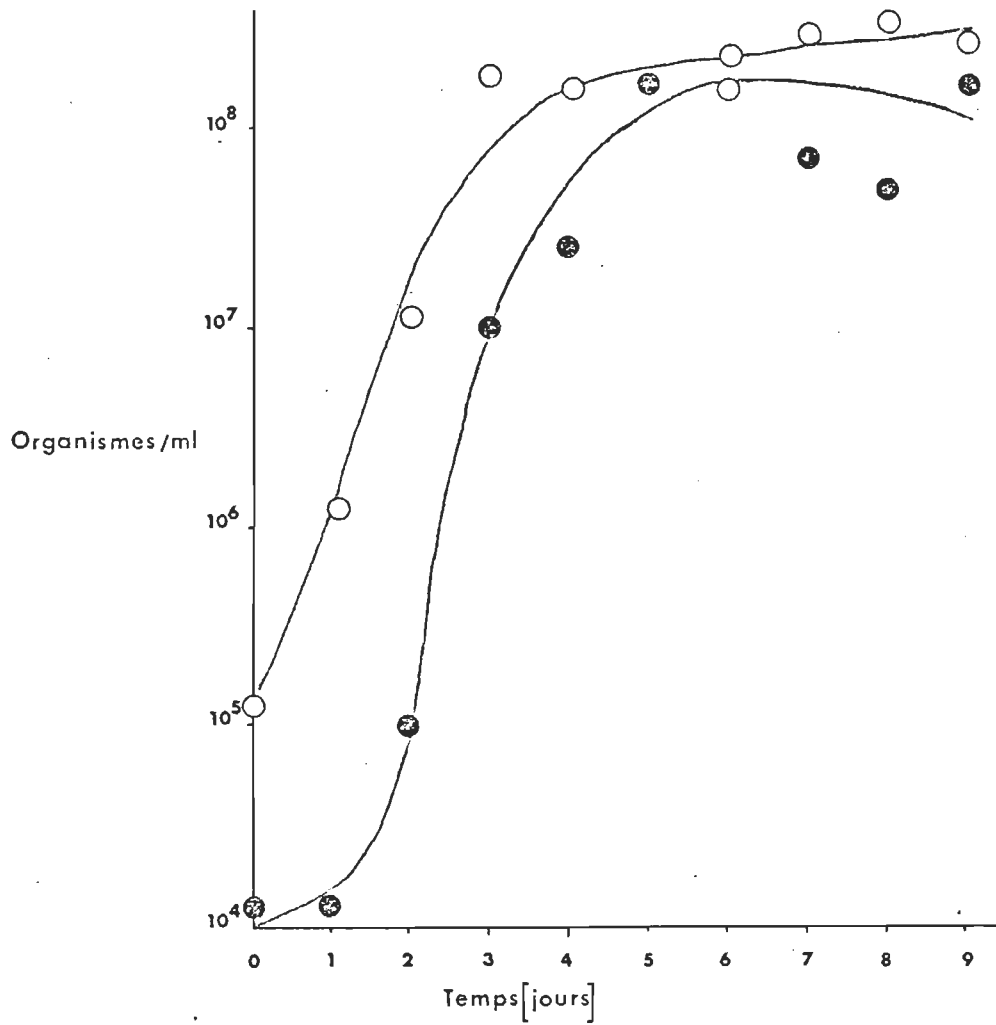


Figure 25.- Courbes de croissance de *Chlorella pyrenoidosa* (O) TX71105 et de la bactérie Gram négative (●) ajoutée à la culture comme contaminant bactérien.  
(d'après Vela & Guerra, 1966)

tures se sont maintenues pendant une période de plus de 8 mois sans trouble apparent. La croissance des bactéries n'aurait pas ralenti celle des algues puisque celle des premières ne requiert pas les mêmes éléments nutritifs que celle des secondes.

La possibilité que les substances rejetées dans le milieu de culture par les bactéries aient influencé la croissance des algues n'est toutefois pas à rejeter non plus, bien qu'indéterminée. En effet, Thomas (1966) affirmait que du fait que les cultures ne soient pas axéniques, des variations et changements dans le milieu de culture pourraient expliquer les variations de taux de croissance spécifique (sans préciser plus à fond). De plus, Trainor (1963) a signalé que les bactéries pouvaient affecter, chez une espèce de Scenedesmus, la formation des coenobes (sans préciser de quelle façon), après avoir observé que certains chocs thermiques avaient eux provoqué une augmentation de la proportion de ceux-ci. Un certain effet interactif de la croissance des bactéries sur la croissance algale a aussi été avancé par Fries (1964), tel que l'optimum de température algale puisse être plus élevé en culture axénique. Selon lui, dans l'équilibre entre algues et bactéries, il est possible que les algues soient favorisées par les faibles températures, car la plupart des bactéries marines se multiplient très lentement à faible température et présentent des optimums de croissance à 18-25°C. On peut présumer qu'il existe un optimum physiologique de température pour les cultures axéniques et un optimum écologique pour les algues vivant en présence de bactéries. Les taux de croissance reportés dans notre étude représentent

les valeurs écologiques au sens de Fries (op. cit.).

Ces mêmes valeurs sont aussi limitées aux conditions de culture décrites, du fait que les effets interactifs des autres facteurs (bien que ceux-ci n'aient pas varié) ne soient pas connus. Ces facteurs dont les nutriments, l'éclairage, la turbulence, en particulier sont potentiellement limitants ou accessoires et peuvent avoir exercé un effet indéterminé sur la croissance. Il importe de tenir compte de cela lorsqu'on tente de comparer nos résultats avec ceux d'autres travaux similaires. Dans la majorité de ceux-ci, la condition axénique est habituellement maintenue et les autres facteurs expérimentaux sont optima (intensité lumineuse, milieu nutritif,  $\text{CO}_2$ ,...). Nos espèces sont de plus physiologiquement différentes, croyons-nous de celles venant d'ailleurs.

Nos résultats de taux de croissance spécifique ( $k'$ ) sont donc évidemment plus faibles en valeur absolue que ceux reportés pour des espèces voisines. Les valeurs optimales se situent cependant aux mêmes températures, les valeurs de  $Q_{10}$  sont comparables, de même que les comportements en réaction aux changements de température. Le taux de croissance optimal, ou de photosynthèse, chez de nombreuses algues vertes est généralement observé à environ  $25^\circ\text{C}$  (Felfoldy, 1961). Les valeurs normales de  $Q_{10}$  en réponse à des changements de température se situent généralement entre 2 et 4 (Fogg, 1975). Les effets de la température sur la photosynthèse sont complexes; le processus consiste en réactions photochimiques qui ne sont pas strictement dépendantes de la température et de réactions chimiques qui présentent un  $Q_{10}$  usuel de 2 à 3 (Felfoldy, op. cit.).



En plus des conditions expérimentales, la physiologie des espèces influence directement la réponse enregistrée, d'où une certaine variabilité possible.

Il ressort de notre étude, que la facette déterminante de la réaction de croissance des algues suite aux traitements est la température atteinte. La fréquence (intervalle de temps) entre les variations ne semble pas influencer la réponse des cultures traitées. Dans l'hypothèse d'un réchauffement soutenu, la réaction se fait autour du point de température où la croissance est optimale; augmentation des taux de croissance spécifiques lorsqu'on s'en rapproche, chute lorsqu'on le dépasse pouvant aller jusqu'à la mort des cultures. Dans l'hypothèse d'un réchauffement suivi d'un retour à la normale, la réaction est neutre sur toute l'échelle de température expérimentée. Dans tous les cas sauf un (le traitement 2.A à 15°C chez Pediastrum), que les stress soient graduels ou instantanés la réponse des taux de croissance spécifiques est la même.

La première observation est communément relevée dans la majorité des études similaires; quand des cellules sont soumises à un changement soudain de température d'en-dessous jusqu'à l'optimum, le taux de division cellulaire se voit accéléré. Ceci permet de faire ressortir une constatation d'ordre général, à savoir que la sévérité de l'impact, en plus d'être fonction de l'écart de température provoqué, est aussi fonction de la température d'entrée de l'eau (Briand, 1975), et de façon indirecte, de sa température de sortie du réacteur. Morgan & Stross (1969) ont observé qu'un écart de température de 8°C exerçait un effet positif pour des

températures d'eau à l'entrée de  $16^{\circ}\text{C}$  ou moins, un effet négatif à des températures correspondantes de  $20^{\circ}\text{C}$  ou plus. A cette même constatation doit évidemment aussi se rattacher le domaine de température propre à chaque espèce ou groupe d'algues. Le point de revirement correspondant à la température où la croissance est optimale serait plus faible ou plus élevé selon que les algues sont psychrophiles ou thermophiles. Ce point se situe, dans notre cas, aux alentours de  $26^{\circ}\text{C}$  environ. Nous avons effectivement observé, dans le cas de traitements de l'hypothèse 1, un effet favorable à  $10^{\circ}$  à  $15^{\circ}\text{C}$  et défavorable à  $25^{\circ}$  et  $30^{\circ}\text{C}$ , alors qu'à  $21^{\circ}\text{C}$  environ l'effet était neutre. En ce qui concerne les traités de l'hypothèse 2, la température d'entrée de l'eau n'a pas semblé causer de différences de réaction. Des différences sont toutefois possibles, croyons-nous, selon que les écarts de température atteints soient modifiés. Ces mêmes différences seraient aussi et surtout reliées aux valeurs absolues des températures atteintes en relation avec la fragilité (ou tolérance) de l'espèce face à celles-ci.

La seconde observation, selon laquelle la réponse des algues aux traitements subis est la même que les stress soient graduels ou instantanés, est trompeuse et ne rend pas compte de toute la réalité. Bien que nous n'ayons pas trouvé de différences significatives entre les 4 traitements du type 1 et les 6 autres du type 2 (sauf une exception déjà citée), il est un indice qui nous permet de croire à un certain effet intervalles de temps dans la réponse aux traitements. Cet indice est le traitement 2.A, le seul qui ait montré un effet significativement négatif

sur le taux de croissance spécifique de Pediastrum à 15°C. C'est un des traitements qui a invoqué, rappelons-le, le plus de changements de température (5) et en des temps les plus courts (3 heures entre chacun). Cet effet négatif a été attribué au manque de temps laissé pour réagir à chacun des changements de température. Plus le temps de réaction, correspondant à l'intervalle de temps entre les variations de température, est court, plus le désordre risque, semble-t-il, d'être grand. Le fait qu'un effet se soit manifesté dans un traitement (traitement 2) et pas dans l'autre (traitement 1) semble être un second indice allant dans le sens de cet effet intervalle de temps. Bien que nos indices soient faibles dans les traitements effectués, nous croyons que la situation risque d'être très différente en nature. Si nous n'avons enregistré aucun effet ou presque rattachable aux intervalles de temps, c'est que ceux-ci étaient très larges (3, 6, 12 heures). En nature, le réchauffement et le refroidissement de l'eau seront effectués en des intervalles ne dépassant vraisemblablement pas une dizaine de minutes. Le risque, s'il existe, comme nous sommes portés à le croire, deviendra alors plus considérable.

Les observations faites lors de l'analyse d'une période d'acclimatation permettent de croire à un certain effet du temps de séjour dans la réponse aux traitements. Les taux de croissance spécifiques des cultures acclimatées à 35°C ont présenté des valeurs beaucoup moindres que celles enregistrées par les cultures déjà acclimatées à 25°C et traitées selon l'hypothèse 1 (portées à 35°C soit directement ou soit en séjournant à une température intermédiaire (30°C) pendant 3, 6 ou 12 heures). Les

résultats n'ont pas montré de différences significatives aux températures moindres cependant. Il semble donc que l'effet délétère entraîné par le séjour des algues à cette température ( $35^{\circ}\text{C}$ ) prenne un certain temps à se manifester, alors qu'aux autres températures moindres, le temps de séjour n'entraîne pas de différences. Ici la durée d'exposition serait un facteur important, en ce sens que la température maximale tolérable par une espèce algale serait fonction du temps d'exposition à cette température. Jitts et al. (1964) ont signalé que des cellules algales soumises à des changements de température nécessitaient un certain temps d'ajustement permettant aux systèmes enzymatiques de s'adapter aux conditions nouvelles. Il a avancé que le  $Q_{10}$  serait d'abord élevé avant de s'ajuster à une nouvelle valeur plus basse, ceci dans l'échange entre une faible température et l'optimum. Il a également ajouté que les ajustements à une température plus faible prenaient plus de temps (48 heures généralement) à s'effectuer que ceux à une température supérieure. Par contre, Morris & Glover (1974) affirmaient que l'hypothèse généralement acceptée d'adaptation à la température pour les algues est insoutenable, si l'on invoque le mécanisme d'augmentation de leurs enzymes photosynthétiques. Ils avaient observé que la croissance à basse température n'augmentait pas la capacité de photosynthèse à ces basses températures. Ceci réduisait plutôt leur possibilité d'assimiler le  $\text{CO}_2$  aux températures plus élevées. Il semble, d'après les résultats de nos travaux, que l'effet de la durée d'exposition ne se manifeste qu'aux températures élevées dépassant la température optimale de croissance d'une espèce algale. L'effet délétère

entraîné (sub-léthal ou léthal) prend un certain temps à se manifester à ces températures, alors que la réponse semble immédiate si les changements de température restent à l'intérieur de certaines limites moindres. Il reste toutefois possible qu'un effet temps d'ajustement existe aussi dans le domaine de température de croissance normale. Rappelons-nous que la première lecture de croissance s'est faite après 24 heures suite aux traitements; l'ajustement aurait pu se faire en un temps moindre et échapper à notre observation. Ces temps d'ajustement plus grands avancés par Jitts et al. (op. cit.) lors d'un retour à une température moindre n'ont pu être observés lors des traitements de l'hypothèse 2. Ceci s'expliquerait sans doute par le fait que les cultures n'ont passé qu'un temps maximum de 12 heures à T10 avant de revenir à T0; elles n'auraient pas eu le temps de s'ajuster à cette température élevée (T10) avant de revenir à leur température d'acclimatation (T0). Bien que nos résultats en ce sens soient limités, il semble raisonnable de croire que le temps de séjour aux températures extrêmes puisse jouer un rôle important en milieu naturel. Cet effet se ferait surtout sentir au niveau du périphyton, pour qui les températures auxquelles il sera soumis peuvent s'avérer léthales ou sub-léthales.

Une constatation additionnelle peut être relevée des observations des taux de croissance spécifiques aux températures élevées (35° et 40°C). Le domaine de température d'une espèce algale est différent selon que l'on considère la croissance ou la survie; celui de cette dernière étant généralement plus large que celui de la première. C'est un fait bien re-

connu que la plupart des espèces sont confinées à des limites de température définies et qu'elles entrent en conditions de dormance ou inactivité dans les régions où elles existent et dans lesquelles la température monte au-dessus ou descend en-dessous du domaine normal (Reynolds & Casterlin, 1977). Nous avons observé, chez les deux espèces étudiées lors de l'acclimatation à 35°C, des phénomènes de stagnation et de dégénérescence des cultures (changements de couleur allant du vert au jaune-verdâtre, sédimentation beaucoup plus prononcée, vacuolisation du cytoplasme, variations morphologiques...). Ces changements avaient déjà été signalés pour une autre espèce de Scenedesmus (Komarek & Ruzicka, 1969). La résultante fut une baisse considérable des taux de croissance spécifiques. Nous n'avons toutefois pas d'indices sérieux à savoir si cette baisse est due à la mortalité comme telle ou plutôt à une phase d'inactivité induite par les températures élevées.

Une étude morphologique serait nécessaire pour faire la lumière sur cette question. Les cultures portées à la température de 40°C sont toutes mortes en l'espace de quelques jours. Les phénomènes décrits à 35°C s'y sont retrouvés, mais se sont manifestés d'une façon beaucoup plus rapide. Deux essais de retour à la température optimale (25°C) furent effectués après un temps de séjour de 7 jours à 40°C. Les deux espèces n'ont montré aucun signe de reviviscence après 7 jours; les cellules étaient mortes, peut-être par déshydratation. Plusieurs théories ont été proposées pour expliquer la mort thermique d'un organisme (Cairns et al., 1972; Cairns et al., 1975), nous ne sommes pas en mesure de nous prononcer sur

cette question. Pour les deux espèces étudiées la température de 35°C peut être considérée comme sub-léthale, alors que 40° est une température létale.

Une cinquième constatation se dégage de l'étude des densités finales atteintes par les cultures en phase stationnaire. Les résultats enregistrés dans le cas des traitements de l'hypothèse 2 vont dans le même sens que ceux enregistrés pour l'étude des taux de croissance spécifiques, à savoir que l'effet est faible et non significatif. Dans le cas des traités de l'hypothèse 1, il est ressorti que la température atteinte (d'incubation) était déterminante des densités finales atteintes. Les intervalles entre les variations n'ont pas semblé influencer sur ces mêmes densités. Les tendances retrouvées furent les mêmes que celles relevées lors de l'étude des taux de croissance spécifiques; augmentation graduelle de 10° jusqu'à un optimum (25°) et diminution aux températures élevées (30°, 35°). Des distinctions importantes sont apparues entre les deux indices à température élevée (30°, 35°); la diminution de densité est très différente en importance de celle enregistrée au sein des taux de croissance. Il s'avère donc important, pour mesurer l'impact de traitements thermiques, de ne pas considérer qu'un seul indice, car celui-ci ne rend pas nécessairement compte de toute la réalité. Les divers indices utilisés lors de notre étude ont montré des réactions différentes; la différence de réponse des densités finales par rapport aux taux de croissance, pour Scenedesmus traitée selon l'hypothèse 1, n'aurait pu être décelée, sans l'étude de croissance ainsi que des temps d'atteinte des phases stationnaires.

res, qui fournissent des renseignements additionnels importants.

Une dernière constatation, découlant directement de la précédente, est que le temps d'observation doit être suffisamment long. Les réactions suite à des traitements thermiques étant imprévisibles, les manifestations peuvent prendre un certain temps avant d'apparaître. Certains effets indirects et d'entraînement peuvent ne ressortir que tardivement, ou encore une réaction d'ajustement d'abord intense peut aller en s'atténuant, ce qui nécessite une période d'échantillonnage assez longue pour couvrir de tels phénomènes en entier.

Il est maintenant temps de comparer les conditions qui prévalent en milieu naturel, en regard de celles que nous avons maintenues lors de notre expérimentation, avant d'essayer d'établir des prévisions. L'augmentation de température provoquée ( $+10^{\circ}\text{C}$ ) correspond à celle qui découle du fonctionnement continu et à plein rendement d'une centrale nucléaire du type de celle de Gentilly I. C'est donc l'écart maximum que les organismes auraient à subir en milieu naturel; toutefois un fonctionnement partiel de la centrale réduirait cet écart proportionnellement. Des valeurs supérieures à l'écart normal de  $10^{\circ}\text{C}$  furent déjà enregistrées (Vaillancourt et al., 1976), soit de  $11^{\circ}\text{C}$ , mais furent associées à d'autres phénomènes.

Les températures saisonnières de l'eau varient entre  $0^{\circ}\text{C}$  en hiver (fin novembre-début mars) et entre  $23^{\circ}$  et  $25^{\circ}\text{C}$  de moyenne hebdomadaire en été (fin juillet-début août). L'évolution est graduelle entre ces deux extrêmes tout au long de l'année. Les valeurs maximales citées sont des



moyennes hebdomadaires; il est donc possible que la température pousse des pointes plus élevées certains jours (jusqu'à  $30^{\circ}\text{C}$  parfois) et se maintienne en-dessous de celles-ci durant d'autres jours. Nous avons pu couvrir expérimentalement une partie importante de ce domaine de température ( $0^{\circ}$ - $30^{\circ}\text{C}$ ), soit l'intervalle  $10^{\circ}$ - $30^{\circ}\text{C}$ . L'échelle  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}\text{C}$  n'a pas été explorée à cause des limites de préférence des espèces étudiées qui se situent idéalement au-delà de cette dite échelle. Les taux de croissance auraient été très réduits, sinon nuls, et les résultats difficiles d'analyse.

Le patron de réchauffement (et de refroidissement) fut conçu afin de simuler celui survenant en milieu naturel. Un effet de déphasage a été enregistré entre la température de l'eau de la zone exposée aux rejets: la température atteinte aux stations situées au point de rejet des eaux chaudes et à environ 600 mètres en aval de ce point (Vaillancourt et al., op. cit.), fut la même mais elle fut atteinte après 10 minutes de fonctionnement dans le premier cas et après 80 minutes dans le second. Les gradients de montée furent de  $8.2$  et de  $3.9^{\circ}\text{C}$  par heure respectivement. Dans l'hypothèse d'un fonctionnement sporadique, les organismes fixés seront donc soumis à des élévations graduelles plus ou moins brusques selon qu'ils se trouvent plus près ou plus loin de la source de rejet thermique. C'est donc en voulant simuler cet effet que nous avons établi notre patron de traitement.

Le réchauffement provoqué est total en ce sens que le mélange des eaux est complet (sur toute l'épaisseur); il ne se produit pas de

phénomène de stratification ou d'écoulement laminaire. Ceci s'explique par le fort débit d'eau rejeté et la faible profondeur de la zone réceptrice. Cette masse d'eau homogène s'étend sur une largeur approximative de 400 mètres et une longueur de 1300 mètres environ. Elle subit alors une baisse rapide suite au mélange avec les eaux arrivant de la rivière Gentilly (300 mètres), et cette baisse est graduelle par la suite (500 mètres) (Vaillancourt et al., 1976). En subdivisant les traitements de l'hypothèse 2 en deux types, nous avons voulu mesurer l'effet possible d'un refroidissement brusque comparativement à un refroidissement graduel.

Le patron de traitement que nous avons adopté ressemble à ce qui se produit en milieu naturel lors du fonctionnement normal d'une centrale nucléaire. Du côté des écarts de température, la situation sera plus clémente en nature si la centrale ne fonctionne pas à plein régime. Les températures de l'eau à l'entrée vont varier selon les saisons entre  $0^{\circ}$  et  $30^{\circ}\text{C}$ , domaine que nous avons couvert en bonne partie. Les distinctions importantes portent surtout sur les intervalles maintenus lors des traitements graduels. Nous avons choisi des temps de 3, 6, 12 heures, autant pour le réchauffement que le refroidissement. Les intervalles nécessaires à l'atteinte des écarts de température, de même que les temps de séjour, pourraient cependant être d'un ordre beaucoup moindre (en termes de minutes plutôt). On devrait s'attendre à des effets plus sévères que ceux enregistrés lors de notre expérimentation.

Un dernier facteur susceptible de modifier les impacts du fonctionnement d'une centrale nucléaire est le régime d'utilisation qu'on en fait. Un fonctionnement ininterrompu présente des implications différentes d'un patron discontinu ou sporadique. Même si l'hypothèse du fonctionnement continu est sans doute la plus plausible, l'expérience de Gentilly 1 nous force à envisager la seconde, même si les conséquences sont beaucoup plus imprévisibles.

Une certaine distinction peut aussi être établie, pour les deux patrons de fonctionnement décrits ci-avant, selon que le groupe d'organismes visé est à la dérive (phytoplancton) ou fixé (périphyton). Les organismes du premier groupe ne subiront qu'un seul traitement passager (hypothèse 2), alors que ceux du second groupe seront soit maintenus en permanence à une température supérieure de l'écart provoqué (hypothèse 1), soit soumis à des variations additionnelles résultant d'un changement de régime de la centrale en opération (autant modification du rendement qu'interruption).

La première modification importante du milieu à être remarquée sera la création d'une zone où l'eau échappera au gel en hiver (cône de caléfaction). Une certaine masse d'eau (dont l'étendue a été décrite précédemment) se maintiendra à une température proche de 10°C au lieu de 0°C (température d'entrée de cette eau environ). Il n'y aura pas formation de couvert de glace, donc exposition au soleil. Cet ensoleillement, ainsi que la température prévalente, devraient permettre une certaine activité métabolique du plancton. Cette possibilité de croissance devrait,

croions-nous, surtout profiter aux organismes fixés plutôt qu'aux organismes à la dérive. Ceux-ci n'étant que de passage dans cette zone, l'effet potentiellement favorable du réchauffement n'aurait pas le temps de se faire sentir. Le périphyton devrait par conséquent maintenir un stock actif plus considérable (qualitativement et quantitativement) durant la saison froide dans la zone de caléfaction. Ce stock serait alors limité non seulement par la température et l'ensoleillement, mais aussi par l'ensemble des autres facteurs du milieu.

Suite à la saison hivernale, vont suivre au printemps un réchauffement plus précoce des eaux et l'atteinte de maxima plus élevés en saison estivale. De façon similaire, les eaux se refroidiront plus tardivement en automne pour atteindre des minima plus élevés en hiver. La zone soumise aux rejets thermiques subira donc un décalage des saisons (printemps hâtif et automne tardif), par rapport aux eaux non touchées par ceux-ci. Ceci aura pour conséquence d'allonger la période d'activité du plancton. Un risque d'exposition à des extrêmes de température trop élevés en saison estivale subsiste cependant.

L'effet d'ensemble de cette modification est complexe et difficile à prévoir pour toute une communauté de producteurs primaires. Cet effet sera différent selon le groupe d'organismes particuliers visé et son importance relative. L'écosystème fluvial du Saint-Laurent supporte trois groupes différents d'algues; les diatomées, les chlorophycées et les cyanophycées. Chaque groupe présente un domaine de température préférentiel, soit les basses températures ( $\rightarrow 20^{\circ}\text{C}$ ), les températures moyennes

(20°-30°C) et les températures élevées (30°C+), pour chacun respectivement. Chacun de ces mêmes groupes présente une importance relative différente. Les diatomées dominent la flore algale durant la majeure partie de l'année (Contant, 1977), sauf une courte période de l'été où les chlorophycées prennent le dessus. Elles peuvent représenter à certains moments jusqu'à 95% de la flore algale totale (fin automne, hiver, début printemps) du fleuve dans le secteur de Gentilly (Ahmad, 1976). Ce premier groupe domine également si l'on considère la qualité de nourriture disponible pour les maillons supérieurs de la chaîne alimentaire; les espèces de ce groupe sont préférées par les autres organismes (invertébrés et poissons) selon Ahmad (op. cit.). Celui-ci a recensé une cinquantaine d'espèces au sein de ce premier groupe. Les chlorophycées font une percée au cours des mois d'été les plus chauds (fin-juillet, août) où elles dépassent les diatomées en importance relative. Ahmad (op. cit.) a recensé une trentaine d'espèces parmi ce groupe.

Quant aux cyanophycées, elles ne représentent qu'une fraction minime en importance et en durée des communautés algales du fleuve. Elles apparaissent à la fin de l'été (août) au moment où les températures de l'eau sont les plus élevées. Ahmad (op. cit.) a recensé une vingtaine d'espèces au sein de ce troisième groupe.

Le réchauffement de la zone soumise à l'influence des rejets d'eau chaude pourrait entraîner une plus grande productivité biologique pour l'ensemble d'une année. Les diatomées, groupe dominant en importance, devraient être favorisées durant une bonne partie de l'année (fin au-

tomme, hiver, début printemps). La hausse de productivité annuelle totale serait attribuable à ce groupe en particulier, à cause de sa valeur nutritive en plus de son importance relative. Les températures nouvelles créées ( $\rightarrow 10^{\circ}\text{C}$  ou moins) resteront en-dessous ou s'approcheront des valeurs optimales généralement acceptées pour ce groupe une bonne partie de l'année. Aruga (1965) a trouvé que l'optimum de température pour la photosynthèse chez diverses algues pouvait augmenter à mesure que la saison avançait dans le sens d'un réchauffement de l'eau. Ce changement de température optimale pour la croissance ne lui sembla pas relié avec des changements dans les types d'algues (successions), mais plutôt avec un changement physiologique (adaptation) à l'intérieur des espèces. Aux basses températures (moins de  $10^{\circ}\text{C}$ ) la température est, à notre avis, le facteur limitant de la croissance; celle-ci haussée, la croissance devrait se faire à un rythme accéléré. L'état de dormance normalement enregistré en eau froide fera vraisemblablement place à un état d'activité métabolique certain.

Ces constatations sont également applicables aux deux autres groupes représentés dans l'écosystème fluvial du Saint-Laurent; les conséquences devraient cependant se manifester différemment par une altération des patrons de succession. Les algues vertes devraient faire leur apparition plus tôt en saison (printemps) dans la zone de rejet que dans les zones non affectées par ceux-ci. Klarer & Hickman, (1975) ont observé au cours de leur étude sur le périphyton conduite en Alberta, qu'en fin été-début automne, les diatomées dominaient aux stations non chauffées alors qu'aux

stations chauffées les chlorophycées dominaient. De façon similaire, celles-ci (les algues vertes) devraient se maintenir plus tard en saison (automne). Le groupe des algues bleu-vertes apparaîtra ainsi vraisemblablement plus tôt en été pour disparaître plus tard par la suite dans la zone chauffée que dans la zone non chauffée. Les décalages entre l'apparition de ces deux derniers groupes ainsi que leur disparition devraient être du même ordre.

L'effet global de ce changement temporel des patrons de succession est difficile d'évaluation à l'échelle annuelle, à savoir si celui-ci sera positif ou négatif (en termes de biomasse produite). Une chose est certaine; la réussite d'une étape quelconque est basée, comme le soulignent Haag et Gorham (1977), sur l'importance des stocks maintenus lors des étapes précédentes. Il y a lieu de croire ici à une amélioration, l'étape critique étant la saison hivernale.

La température s'y maintenant étant haussée du niveau  $0^{\circ}\text{C}$  jusqu'à un niveau maximal de  $10^{\circ}\text{C}$ , les stocks d'algues en dormance seraient alors réduits. Un plus grand nombre d'algues (espèces et individus par espèce) conserverait un certain état d'activité métabolique.

Il reste maintenant à évaluer l'effet négatif possible des températures extrêmes atteintes. Les résultats que nous avons enregistrés semblent indiquer (si nous nous fions uniquement à ceux-ci) que le plancton à la dérive ne risque pas ou peu d'être affecté par le passage à une température de  $10^{\circ}\text{C}$  supérieure à sa température ambiante. Nous croyons toutefois à un risque potentiel du fait que les variations de température su-

bies en milieu naturel le seront en des intervalles beaucoup plus courts que ceux utilisés dans notre étude. Plus les changements seront brusques, plus les conséquences risquent d'être importantes et non réversibles. Nous ne sommes pas en mesure de nous prononcer de façon certaine, n'ayant étudié que deux espèces sur un total dépassant la centaine, mais nous sommes d'avis que s'il y a effet négatif causé par des stress thermiques quelconques, celui-ci pourrait être assez limité. Les deux espèces d'algues vertes étudiées ont montré qu'elles pouvaient tolérer des températures allant jusqu'à 40°C sur les périodes de temps allant jusqu'à 12 heures sans dommage apparent au niveau croissance. Il pourrait en être de même en milieu naturel pour les autres représentants de ce groupe. Les algues bleu-vertes devraient être moins affectées par ce même régime, les extrêmes de température atteints se rapprochant de leur domaine de température préférentiel. Quant aux diatomées, elles risqueraient la mort à ces températures. Nous sommes en mesure de croire cependant que ce même groupe n'aurait pas à subir le passage à ces extrêmes, ayant cédé sa place aux autres groupes à mesure du réchauffement du milieu naturel (successions). Les algues, quel que soit le groupe auquel elles appartiennent, ne devraient pas avoir à subir un écart de température supérieur de 10°C à leur domaine préférentiel normal. Il n'est toutefois pas évident que la réponse suite à un même traitement sera la même d'une espèce ou d'un groupe d'algues à l'autre. Cette réponse est conditionnée par la physiologie de chaque espèce, ou ses limites de résistance thermique respectives.



En ce qui concerne les algues fixées, les températures extrêmes atteintes ne risquent vraisemblablement pas de produire d'effet néfaste sur les algues bleu-vertes, celles-ci seraient plutôt favorisées, croyons-nous. Quant aux algues vertes, elles risquent d'être inhibées en partie durant cette même période (où la température d'entrée de l'eau dépasserait 21°C environ, d'après nos résultats), mais leur saison active aura été prolongée de part et d'autre de cette brève période. Les diatomées seront vraisemblablement remplacées plus tôt au printemps par les autres groupes, chlorophycées d'abord et cyanophycées ensuite, pour redevenir actives plus tard en automne. Le niveau d'activité qu'elles devraient pouvoir maintenir durant la saison hivernale compenserait probablement cette perte estivale.

Plusieurs autres éléments de modification sont encore prévisibles bien que ne découlant pas directement de nos travaux, ceux-ci présentant les limitations rattachées aux conditions expérimentales. Parmi les effets globaux prévisibles à l'échelle des communautés et connexes aux modifications des patrons de succession, le principal serait une altération de la composition de celles-ci, tel que signalé par Carpenter (1973). Celui-ci a enregistré une plus grande diversité dans la zone chauffée que dans la zone contrôle. Il a rattaché cette augmentation de diversité à un état de maturité plus élevé de l'écosystème en question. Cette prévision s'appliquerait, croyons-nous, au fleuve Saint-Laurent dans le secteur qui nous préoccupe. La hausse de température favoriserait l'activité d'un plus grand nombre d'espèces de diatomées durant la saison hivernale

ainsi que dans le domaine pré et post hivernal. La température n'étant plus un facteur limitant pour ce groupe particulier, un plus grand nombre d'espèces arriveraient à maintenir un niveau d'activité. Du côté des algues vertes et bleu-vertes, leur période active étant elle aussi rallongée, une augmentation du nombre d'espèces actives est aussi prévisible. Ces deux groupes nécessitant des températures élevées, devraient profiter d'un allongement de leur saison active et de maxima plus élevés.

Un risque parallèle peut se rattacher à l'atteinte des températures maximales chez le périphyton. Cet effet, signalé par Paine (1966), serait une baisse de diversité accompagnée d'un phénomène de renforcement de la dominance du dominant. Ceci pourrait se produire au milieu de l'été, pour les algues bleu-vertes, au moment où la température d'entrée de l'eau atteint le niveau de 25°C ou plus. La même chose resterait possible pour les diatomées en saison hivernale.

Une autre manifestation pourrait vraisemblablement se réaliser, soit celle de la création de fleurs-d'eau localisées. Les conditions nouvelles de température régnant dans le cône de rejet pourraient permettre à une certaine flore de mieux profiter des autres changements de conditions s'opérant dans ce milieu. Ce risque serait le plus fort au moment des crues printanière et automnale en plus du moment où les températures maximales sont atteintes.

Le Saint-Laurent renferme deux groupes de producteurs primaires, soit le phytoplancton et le périphyton. Il s'avère important de connaître

l'importance relative de ces deux groupes puisque les risques encourus par ceux-ci ne sont pas les mêmes. Le Saint-Laurent est représentatif de la catégorie des rivières larges (Hynes, 1970) où la fraction phyto-plancton est toujours présente et souvent dominante. L'étude des algues de la région environnant la centrale nucléaire de Gentilly (Contant, 1977) montre la prédominance des algues phytoplanctoniques vraies. Les organismes purement benthiques ou planctoniques temporaires semblent être de moindre importance. Signalons toutefois les résultats des études effectuées par Ahmad (1976); celui-ci a observé, au cours de son étude du périphyton du fleuve dans le secteur de Gentilly, que seulement les diatomées avaient colonisé les lames qu'il avait utilisé comme substrat artificiel. Ces résultats très fragmentaires illustrent le manque de données disponibles sur la composition algale du fleuve. D'autres études sont nécessaires afin d'évaluer l'importance relative des deux groupes (phyto-plancton et périphyton). Les diatomées devraient faire l'objet d'une attention particulière, étant de loin le groupe le plus important en quantité et en diversité.

Une dernière prévision peut être faite concernant les effets globaux que peut entraîner le réchauffement des eaux par une centrale nucléaire. La hausse de température peut entraîner un risque d'altération de la valeur nutritive des algues, comme souligné par Lanza & Cairns (1972). Ceux-ci ont observé que, chez les diatomées, il se produisait la perte d'une partie substantielle des lipides intracellulaires ou de leurs produits de dégradation, phénomène rattaché à la rupture des membranes. L'ef-

fet se ferait ressentir sur les autres maillons des chaînes alimentaires. Briand (1975) signale également que la provocation d'un écart de température risque la destruction d'une partie du plancton alors non disponible aux consommateurs primaires qui en dépendent. Advenant la possibilité d'élimination de certaines espèces, la recolonisation, si elle s'effectue, risque d'être alors très lente et incomplète.

D'autres troubles peuvent également apparaître, comme le signalent Lanza & Cairns (op. cit.) à nouveau, tels une altération des phénomènes physiologiques (division cellulaire...), des migrations verticales (densité...), des pigments labiles (ralentissement du métabolisme autotrophe...).

## CONCLUSION

La température peut être à la fois facteur contrôlant, facteur léthal ou sub-léthal. Comme facteur contrôlant, elle règle le taux de métabolisme et la croissance, mais avec la différence d'un facteur limitant, elle n'agit pas par restriction de l'apport d'énergie ou de matériaux (Felfoldy, 1961). Une élévation artificielle du régime de température tend, chez les espèces phytoplanctoniques, à augmenter la croissance et la photosynthèse tant que les limites de tolérance ne sont pas atteintes. A l'approche de celles-ci, la division cellulaire est empêchée ainsi que la photosynthèse et la formation de cellules reproductrices. Les températures au-delà de la zone de tolérance sont dites zone de résistance; les temps de mort à une certaine température sont dits temps de résistance thermique (Cairns, 1975). La définition d'une température létale implique donc nécessairement le temps de séjour, en plus de la valeur température comme telle.

La position d'une espèce dans le spectre thermique semble sous contrôle de diverses influences génétiques, ontogéniques et environnementales. L'acclimatation à diverses températures ne semble pas modifier la zone de tolérance d'une espèce; elle peut au plus être haussée ou abaissée à l'intérieur des limites génétiques de celle-ci seulement (Cairns, op. cit.). Une espèce algale sera donc éventuellement inactivée ou détruite à basse ou haute température, peu importe la façon dont celle-ci

sera atteinte, si elle y séjourne un certain temps.

La température n'affecte pas que les processus de croissance et de photosynthèse (anabolisme), elle affecte également les processus cataboliques (respiration, excrétion...). Il importe donc de bien choisir les indicateurs lors de la caractérisation d'une espèce quant à ses tolérances vis-à-vis la température. Le taux de respiration par exemple, ne rend pas nécessairement compte des taux de division cellulaire et d'accumulation du matériel cellulaire; phénomènes se succédant généralement dans le temps. La mesure de la photosynthèse semble acceptable comme indicateur ainsi que la mesure de la croissance, l'une complétant l'autre.

Notre étude n'est pas exhaustive, bien des inconnues ayant échappé à notre contrôle. Les effets directs les plus importants ont pu être observés, suite à des traitements simulant les conditions naturelles. Les conditions de culture ainsi que les patrons de traitement auraient pu être plus élaborés mais nos objectifs étaient limités. D'autres espèces et groupes d'algues représentatifs auraient certainement mérité autant d'attention. Les indications recueillies restent cependant intéressantes et ne devraient qu'ouvrir la voie à d'autres recherches additionnelles visant à mieux connaître la dynamique de la flore algale du fleuve; leur caractère reste donc plutôt indicatif que conclusif.

Le manque d'informations sur les structures des communautés et leur évolution saisonnière est la principale faiblesse rencontrée lors de l'établissement de prévisions concernant les conséquences de l'opération de centrales nucléaires. Ces données sont nécessaires de même que l'étendue

du réchauffement des eaux. Ceci étant connu, il subsiste quand même un lot d'éléments imprévisibles tels certains changements physiques et chimiques des propriétés de l'eau entraînés par l'élévation de température et l'influence changeante des variations saisonnières. En plus de ces effets directs, peuvent entrer en jeu d'autres effets indirects tels les phénomènes de prédation et de compétition et les ruptures de cycles pouvant entraîner des déplantations d'espèces. Ces effets ne peuvent se vérifier qu'en milieu naturel, de même que toute prévision faite s'y verra infirmée ou confirmée.

Le réchauffement des eaux, tel que provoqué par l'opération continue d'une seule centrale nucléaire du type Gentilly I, ne présentera vraisemblablement qu'un impact faiblement significatif au niveau croissant du phytoplancton, à la lumière de nos résultats. Cet impact pourrait s'avérer légèrement favorable au niveau du périphyton. Dans le second cas toutefois, cet effet resterait minime et très localisé, limité au cône de caléfaction. Ces prévisions restent toutefois sujettes à certains réajustements à mesure de l'évolution de nos connaissances sur les composantes biologiques des eaux du fleuve et leur réaction suite à divers traitements thermiques. Seul le fonctionnement de cette centrale pourra révéler exactement toute l'étendue des perturbations entraînées par celle-ci sur le milieu aquatique.

Toutefois la prévision d'installation d'une série de complexes nucléaires le long du fleuve Saint-Laurent augmente les risques de perturbations de l'environnement aquatique. Des études doivent être entreprises

afin de prévoir les effets de traitements thermiques répétés ainsi que ceux résultant du fonctionnement à long terme des centrales nucléaires, non seulement au niveau des producteurs primaires (maillon fondamental), mais également au niveau des autres maillons des chaînes trophiques.

Une suggestion, faite par Briand (1975), mériterait, pensons-nous, qu'on lui accorde une certaine attention. A partir de l'étude qu'il a faite d'un écosystème marin côtier (Californie), il est arrivé à proposer l'utilisation comme réfrigérant de l'eau profonde, alors froide et riche en nutriments, plutôt que de l'eau de surface moins froide et moins riche. On arriverait de cette façon, ajoute-t-il, non seulement à diminuer les dégâts mais à une hausse de productivité. Il serait intéressant de voir si cette suggestion est applicable dans le cas du fleuve Saint-Laurent et plus particulièrement dans le cas du complexe nucléaire de Gentilly.



# BIBLIOGRAPHIE

- Ahmad, A. 1976. Etude des populations d'algues du fleuve Saint-Laurent dans la région de la centrale nucléaire de Gentilly. CERSE. UQAM. 105 pp.
- Alexander, M. 1971. Microbial Ecology. John Wiley & Sons Inc. Toronto. 511 pp.
- Aruga, Y. 1965. Ecological studies of photosynthesis and matter production of phytoplankton. 1. Seasonal changes in photosynthesis of natural phytoplankton. Bot. Mag. Tokyo. 78 (926-927): 280-288. In: Patrick, R., 1969. Some Effects of temperature on freshwater algae. (Biological aspects of thermal pollution. P.A. Krenkel & F.L. Parker Ed. pp. 161-185).
- Behringer, M.P. 1973. Techniques and materials in biology. McGraw-Hill book Co. Toronto. 600 pp.
- Bold, H.C. 1942. The cultivation of algae. Bot. Rev. 8(2): 69-138.
- Briand, F.J.P. 1975. Effects of power-plant cooling systems on marine phytoplankton. Mar. Biol. 33 (1): 135-147.
- Brochure Millipore Am 302. 1973. Biological analysis of water and waste water. Millipore Corp. Bedford. 84pp.
- Brochure Perkin-Elmer, 1975. Coleman N° 9 Nephocolorimeter operating directions 99202-D, Rev. 8 Coleman Instruments division. Oak Brook. 40 pp.
- Cairns, J. Jr, Lanza, G.R. & B.C. Parker. 1972. Pollution related structural and functional changes in aquatic communities with emphasis on freshwater algae and protozoa. Proc. Acad. Nat. Sci. Phila. 124: 79-127.

- Cairns, J. Jr. 1975. The effects of temperature upon the toxicity of chemicals to aquatic organisms. *Hydrobiologia*. 47(1): 135-171.
- Carpenter, E.J. 1973. Brackish-Water phytoplankton response to temperature elevation. *Estuarine Coastal Mar. Sci.* 1: 37-44.
- Chodat, R. 1926. *Scenedesmus*. Etude de génétique, de systématique expérimentale et d'hydrobiologie. *Rev. Hydrobiol.* 3: 71-258.
- Contant, H. 1977. Etude des algues environnant la centrale nucléaire de Gentilly. Hydro-Québec. Direction environnement.
- Epply, R.W. 1972. Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fish. Bull.* 70: 1063-1085.
- Felfoldy, L.J.M. 1961. Effect of temperature on photosynthesis of three unicellular algal strains. *Acta Biologica*. 12(2): 153-159.
- Fogg, G.E., Stewart, W.D.P., Fay, P. & A.E. Walsby. 1973. The blue-green algae. Academic Press. New York. 459pp.
- Fogg, G.E. 1975. Algal cultures and phytoplankton ecology (2<sup>e</sup> Ed.). The University of Wisconsin Press. Madison. 175pp.
- Freund, R.J. 1971. Some observations on regressions with grouped data. *Amer. Stat.* 17(5): 13-15. In: Zar (1974).
- Fries, L. 1964. Temperature optima of some red algae in axenic cultures. *Bot. Mar.* 4: 12-14. In: Reynolds & Casterlin (1977).
- Fritsch, F.E. Collection of algae. Freshwater Biological Association. Microfiches.
- Fry, F.E.J. 1947. Effects of the environment on animal activity. University of Toronto Studies, Biol. Series N° 55. 62pp. Publ. Ontario Fish. Res. Lab. N° 68. In: Reynolds & Casterlin (1977).
- Gerloff, G.C., Fitzgerald, G.P. & F. Skoog. 1950. The isolation, purification and culture of blue-green algae. *Am. J. Bot.* 37: 216-218.
- Goldman, J.C. & E.J. Carpenter. 1974. A kinetic approach to the effect of temperature on algal growth. *Limnol. Oceanogr.* 19(5): 757-767.

- Haag, R.W. & P.R. Gorham. 1977. Effects of thermal effluent on standing crop and net production of Elodea canadensis and other submerged macrophytes in lake Wabamun, Alberta. J. Appl. Ecol. 14: 835-851.
- Hoogenhout, H. & J. Amez. 1965. Growth rates of photosynthetic Microorganisms in Laboratory cultures. Arch. Mikrobiol. 50: 10-24.
- Hynes, H.B.N. 1970. The ecology of running waters. University of Toronto press. Toronto. 555 pp.
- James, D.E. 1971. Isolation and purification of algae. Carol. Tips, 34(9): 33-35.
- Jitts, H.R., McAllister, C.D., Stephens, K. & J.D.H. Strickland. 1964. The cell division rates of some marine phytoplankters as a function of light and temperature. J. Fish. Res. Board. Can. 21: 139-157.
- Johansen, D.A. 1940. Plant microtechnique. McGraw-Hill Book Co. New York. 523pp.
- Klarer, D.M. & M. Hickman. 1975. The effect of thermal effluent upon the standing crop of an epiphytic algal community. Int. Rev. Gesamten Hydrobiol. 60(1): 17-62.
- Klein, R.M. & D.T. Klein. 1970. Research methods in plant science. The natural history press. Garden City. 756pp.
- Komareck, J. & J. Ruzicka. 1969. Effects of temperature on the growth and viability of Scenedesmus quadricauda (Turp.) Breb. Stud. Phycol. Acad. Zechosluduaka. 262-292.
- Kratz, W.A. & J. Myers. 1955. Nutrition and growth of several blue-green algae. Am. J. Bot. 42: 282-287.
- Krebs, R.P., Perkins, P., Tytell, A.A. & H. Kersten. 1942. A turbidity comparator. Rev. Sci. Instrum. 13: 229-232. In: Lund & Talling (1957).
- Lanza, G.R. & J. Cairns Jr. 1972. Physio-morphological effects of abrupt thermal stress on diatoms. Trans. Am. Microsc. Soc. 91(3): 276-298.
- Lewin, R.A. 1959. The isolation of algae. Rev. Algal. 3: 181-197.

- Lund, J.W.G. & J.F. Talling. 1957. Botanical Limnological methods with special reference to the algae. Bot. Rev. 23(8-9): 489-583.
- Lund, J.W.G., Kipling, C. & E.D. LeCren. 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. Hydrobiologia, 11: 143-170.
- Lund, J.W.G. 1959. Buoyancy in relation to the ecology of the freshwater phytoplankton. Br. Phycol. Bull. 1(17): 1-17. In: Fogg (1975).
- McCombie, A.M. 1960. Actions and interactions of temperature, light intensity and nutrient concentration on the growth of the green alga Chlamydomonas reinhardi Dangard. J. Fish. Res. Board Can. 17: 871-894.
- Morgan, R.P. & R.G. Stross. 1969. Destruction of phytoplankton in the cooling water supply of a stream electric station. Chesapeake Sci. 10: 165-171.
- Mornis, I. & H.E. Clover. 1974. Questions on mechanism of temperature adaptation in marine phytoplankton. Mar. Biol. 24(2) 147-154.
- Myers, J. 1953. Growth characteristics of algae in relation to the problems of mass culture. Carnegie Inst. Washington Publ. 600: 37-54.
- Nichols, H.W. & H.C. Bold. 1965. Trichosarcina polymorpha Gen. et Sp. Nov. J. Phycol. 1: 34-38. In: Stein (1973).
- Paine, R.T. 1966. Food web complexity and species diversity. Am. Nat. 100: 65-75. In: Briand (1975).
- Parker, B.C. & B.L. Turner. 1961. Operational niches and "Community-Interaction values" as determined from in vitro studies of some soil algae. Evolution, 15: 228-238.
- Pope, D.H. & L.R. Berger. 1974. Effect of temperature and hydrostatic pressure on algal respiration. Can. J. Bot. 52: 2375-2379.
- Prescott, G.W. 1962. Algae of the Western Great Lakes Area. Wm. C. Brown Co. Dubuque. 977pp.
- Pringsheim, E.G. 1964. Pure cultures of algae. Hafner Publ. Co. Inc. New York. 119pp.
- Reynolds, W. & M.E. Casterlin. 1977. Effect of temperature on the growth rate of Griffithsia tenuis C. Agardh (Rhodophyta: ceramiales). Hydrobiologia, 56(3): 225-227.

- Round, F.E. 1965. The biology of algae. St. Martin press. New York. 269pp.
- Smith, G.M. 1916. A monograph of the algal genus Scenedesmus based upon pure culture studies. Trans. Wisconsin Acad. 18: 422-530.
- Sorokin, C. & J. Myers. 1953. A high temperature strain of Chlorella. Science, 117: 330-331.
- Sorokin, C. & R.W. Krauss. 1958. The effects of light intensity on the growth rates of green algae. Plant Physiol. 33: 109-113.
- Stein, J.R. 1973. Handbook of phycological methods: Culture methods and growth measurements. J.R. Stein Ed. New York. 448pp.
- Thomas, W.H. 1966. Effects of temperature and illuminance on cell division rates of three species of tropical oceanic phytoplankton. J. Phycol. 2: 17-22.
- Trainor, F.R. 1963. The occurrence of Dactylococcus-like stage in an axenic culture of a Scenedesmus. Can. J. Bot. 41: 967-968.
- Trainor, F.R. 1964a. The effect of composition of the medium on morphology in Scenedesmus obliquus. Can. J. Bot. 42: 515-518.
- Trainor, F.R. 1964b. Spine distribution in several Scenedesmus cultures. Am. J. Bot. 51: 995-1001.
- Trainor, F.R. 1965. A study of unialgal cultures of Scenedesmus incubated in nature and in the laboratory. Can. J. Bot. 43: 701-706.
- Trainor, F.R. & C.L. Hilton. 1963. Identification of a species of Scenedesmus. Nature (London), 200: 800.
- Trudel, P. 1977. Identification de diverses bactéries présentes dans une culture d'algues. Projet de fin d'études (B. Sc.). UQTR.
- Uherkovich, G. 1966. Die Scenedesmus-Arten Ungarns. Akademia Kaido, Budapest. 173 pp.
- Vaillancourt, G., Aubin, A., Lacoursière, E., Couture, R., Bourassa, J.-P., et J. Dubé. 1971. Projet Thermopol. Centrale nucléaire de Gentilly, Québec. Section biologie, UQTR. Trois-Rivières. 194pp.

- Vaillancourt, G., Couture, R., Lacoursière, E. et J. Dubé. 1976.  
Effets thermiques de la centrale nucléaire Gentilly I.  
P.U.Q. Montréal. 219 pp.
- Vela, G.R. & G.N. Guerra. 1966. On the nature of mixed cultures of  
Chlorella pyrenoidosa TX71105 and various bacteria. J. Gen.  
Microbiol. 42: 123-131.
- Zar, J.H. 1974. Biostatistical analysis. Prentice-Hall Inc.  
Englewood Cliffs. 620 pp.

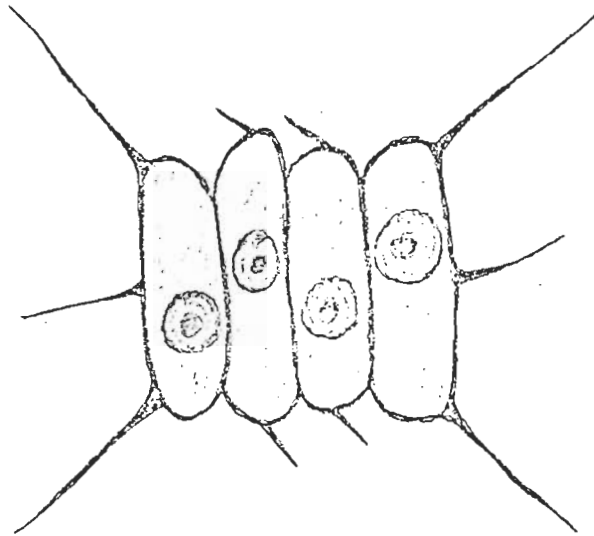
## APPENDICE A SOUCHE ALGALE N° 1

Position systématique

Chlorophytes

Chlorococcales

Scenedesmacées

Scenedesmus sp.

1000 x approximativement

## APPENDICE B

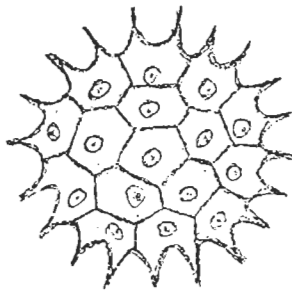
## SOUCHE ALGALE N° 2

Position systématique

Chlorophytes

Chlorococcales

Hydrodictyacées

Pediastrum sp.

200 x approximativement



## APPENDICE C

Résultats des mesures de densité optique (D.O.) et  
de concentration en coenobes ( $[C]$ )

A. Scenedesmus ( $\times 10^6$  coenobes/ml)

No	X D.O.	Y [ C ]
0,5	0,012	0,1126
1	0,023	0,2172
2	0,048	0,4931
3	0,069	0,6254
4	0,093	0,9669
5	0,118	1,0318
6	0,145	1,2153
7	0,169	1,5420
8	0,193	1,9762
9	0,223	1,9010
10	0,257	2,1815

B. Pediastrum ( $\times 10^5$  coenobes/ml)

No	X D.O.	Y [ C ]
1	0,033	0,2787
2	0,069	0,6378
3	0,111	0,8817
4	0,145	1,1578
5	0,192	1,3239
6	0,234	1,7206
7	0,270	2,1011
8	0,314	1,9939
9	0,362	2,5326
10	0,398	2,7872

## Lectures des densités optiques enregistrées selon le temps (jours) de culture et la température

A. *Scenedesmus*

Température d'acclimatation	Culture	Jour 0	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5
10°	T <sub>1</sub>	0,0368	0,0460	0,0595	0,0708	0,0913	0,1308
	T <sub>2</sub>	0,0570	0,0720	0,0980	0,1230	0,1595	0,2088
	T <sub>3</sub>	0,0400	0,0555	0,0730	0,1050	0,1380	0,1840
	T <sub>4</sub>	0,0415	0,0540	0,0710	0,0780	0,0930	0,1525
	11	0,0383	0,0655	0,1108	0,1768	0,2593	0,3570
	12A	0,0515	0,0860	0,1400	0,1860	0,3380	0,3125
	12B	0,0585	0,1010	0,1705	0,2520	0,3270	0,3775
	12C	0,0590	0,1010	0,1600	0,2410	0,3135	0,3810
	1A	0,0480	0,0490	0,0620	0,0840	0,1070	0,1400
	1B	0,0520	0,0530	0,0685	0,0930	0,1140	0,1562
	1C	0,0550	0,0840	0,1200	0,1680	0,2220	0,2910
	2A	0,0530	0,0800	0,1100	0,1410	0,1710	0,2225
	2B	0,0560	0,0775	0,1030	0,1240	0,1560	0,2112
	2C	0,0480	0,0610	0,0819	0,1130	0,1275	0,1700
15°	T <sub>1</sub>	0,0445	0,0630	0,1000	0,1560	0,1993	0,2508
	T <sub>2</sub>	0,0610	0,1105	0,1690	0,2340	0,3215	0,3950
	T <sub>3</sub>	0,0525	0,0725	0,1125	0,1730	0,2425	0,3135
	T <sub>4</sub>	0,0495	0,0835	0,1295	0,1965	0,2685	0,3612
	11	0,0445	0,0935	0,1630	0,2685	0,3628	0,4585
	12A	0,0575	0,1060	0,1730	0,2685	0,2995	0,3625
	12B	0,0495	0,0870	0,1500	0,2260	0,3260	0,4025
	12C	0,0510	0,1010	0,1750	0,2740	0,3655	0,4550
	1A	0,0450	0,0720	0,1110	0,1630	0,2190	0,2900
	1B	0,0485	0,0765	0,1180	0,2005	0,2830	0,3590
	1C	0,0500	0,0765	0,1210	0,1970	0,2980	0,3875
	2A	0,0560	0,0975	0,1515	0,2200	0,3460	0,3650
	2B	0,0530	0,0960	0,1600	0,2485	0,3130	0,3738
	2C	0,0475	0,0655	0,0965	0,1610	0,2325	0,3188
20°	T <sub>1</sub>	0,0440	0,0715	0,1208	0,1790	0,2313	0,2980
	T <sub>2</sub>	0,0525	0,0920	0,1760	0,2830	0,3940	0,4438
	T <sub>3</sub>	0,0420	0,0785	0,1385	0,2090	0,2920	0,3720
	11	0,0415	0,0810	0,1430	0,2210	0,2893	0,3613
	12A	0,0575	0,1200	0,2200	0,3130	0,4090	0,4625
	12B	0,0410	0,0955	0,1680	0,2620	0,3640	0,4345
	12C	0,0550	0,1120	0,1870	0,2860	0,3780	0,4350
	1A	0,0475	0,0730	0,1110	0,1620	0,2295	0,2930
	1B	0,0430	0,0825	0,1395	0,2115	0,2910	0,3710
	1C	0,0470	0,0710	0,1290	0,2200	0,3138	0,4137
	2A	0,0520	0,0785	0,1390	0,1930	0,2650	0,3425
	2B	0,0530	0,0850	0,1450	0,2440	0,3280	0,3975
	2C	0,0530	0,0800	0,1360	0,2070	0,2700	0,3450
25°	T <sub>1</sub>	0,0445	0,0803	0,1390	0,2195	0,3025	0,3903
	T <sub>2</sub>	0,0470	0,0760	0,1325	0,2105	0,2575	0,3462
	T <sub>3</sub>	0,0450	0,0900	0,1750	0,2990	0,3850	0,4660
	T <sub>4</sub>	0,0440	0,0965	0,1905	0,2895	0,3645	0,4325
	11	0,0480	0,0785	0,1313	0,1908	0,2483	0,3148
	12A	0,0490	0,0785	0,1090	0,1840	0,2225	0,2638
	12B	0,0420	0,0860	0,1390	0,1980	0,2135	0,2820
	12C	0,0450	0,0710	0,1070	0,1520	0,1830	0,2270
	1A	0,0445	0,0900	0,1500	0,3080	0,2938	0,3875
	1B	0,0470	0,0910	0,1590	0,2600	0,3625	0,4338
	1C	0,0470	0,0800	0,1325	0,2190	0,2938	0,3775
	2A	0,0540	0,1005	0,1735	0,2505	0,3295	0,3938
	2B	0,0350	0,1030	0,1905	0,3020	0,3900	0,4712
	2C	0,0600	0,1120	0,2050	0,3000	0,3860	0,4775
27°	T <sub>1</sub>	0,0600	0,0990	0,1540	0,2390	0,2800	0,3950
	T <sub>2</sub>	0,0630	0,1200	0,2020	0,3080	0,3830	0,5030
	T <sub>3</sub>	0,0610	0,1030	0,1740	0,2740	0,3500	0,4590
30°	T <sub>1</sub>	0,0483	0,0700	0,1113	0,1553	0,1950	0,2483
	T <sub>2</sub>	0,0490	0,0840	0,1220	0,1735	0,2300	0,2880
	T <sub>3</sub>	0,0520	0,1000	0,1785	0,2655	0,3520	0,4300
	T <sub>4</sub>	0,0505	0,0800	0,1535	0,2380	0,3170	0,4075
	11	0,0455	0,0530	0,0505	0,0360	0,0295	0,0228
	12A	0,0500	0,0540	0,0290	0,0220	0,0170	0,0150
	12B	0,0500	0,0520	0,0310	0,0195	0,0170	0,0165
	12C	0,0480	0,0490	0,0330	0,0195	0,0185	0,0170
	1A	0,0530	0,0785	0,1195	0,1800	0,2425	0,3038
	1B	0,0525	0,1020	0,1985	0,2945	0,3690	0,4250
	1C	0,0430	0,0735	0,1435	0,2195	0,3080	0,3962
	2A	0,0530	0,0995	0,1745	0,2570	0,3340	0,3950
	2B	0,0455	0,0980	0,1880	0,3120	0,3980	0,4712
	2C	0,0380	0,0450	0,0585	0,0850	0,1255	0,1700
35°	T <sub>1</sub>	0,0450	0,0530	0,0590	0,0675	0,0745	0,0815
	T <sub>2</sub>	0,0470	0,0560	0,0625	0,0720	0,0805	0,0890

## Lectures des densités optiques enregistrées selon le temps (jours) de culture et la température

B. *Pediastrum*

Température d'acclimatation	Culture	Jour 0	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5
10°	T1	0,044	0,050	0,057	0,063	0,073	0,089
	T2	0,027	0,029	0,036	0,043	0,050	0,067
	T3	0,028	0,035	0,042	0,052	0,061	0,077
	T4	0,037	0,043	0,048	0,051	0,063	0,074
	11	0,041	0,066	0,087	0,118	0,143	0,169
	12A	0,039	0,054	0,072	0,103	0,139	0,178
	12B	0,032	0,058	0,072	0,107	0,142	0,192
	12C	0,040	0,048	0,059	0,080	0,101	0,138
	1A	0,030	0,032	0,042	0,052	0,063	0,083
	1B	0,046	0,053	0,060	0,075	0,093	0,109
	1C	0,040	0,052	0,060	0,075	0,089	0,105
	2A	0,029	0,036	0,044	0,050	0,057	0,065
	2B	0,030	0,036	0,038	0,048	0,058	0,067
	2C	0,029	0,035	0,039	0,043	0,056	0,065
	T1	0,030	0,045	0,059	0,085	0,117	0,148
	T2	0,038	0,058	0,086	0,131	0,169	0,210
15°	T3	0,024	0,049	0,075	0,105	0,151	0,188
	T4	0,035	0,049	0,055	0,072	0,101	0,139
	11	0,029	0,047	0,070	0,107	0,150	0,188
	12A	0,031	0,049	0,070	0,102	0,143	0,203
	12B	0,042	0,078	0,117	0,164	0,205	0,244
	12C	0,031	0,050	0,078	0,109	0,150	0,211
	1A	0,030	0,043	0,059	0,083	0,121	0,170
	1B	0,040	0,052	0,077	0,103	0,115	0,139
	1C	0,030	0,042	0,060	0,092	0,131	0,181
	2A	0,035	0,046	0,052	0,068	0,086	0,101
	2B	0,041	0,059	0,074	0,106	0,121	0,150
	2C	0,034	0,047	0,058	0,077	0,108	0,139
	T1	0,032	0,046	0,071	0,095	0,128	0,170
	T2	0,043	0,063	0,098	0,140	0,172	0,219
	T3	0,028	0,039	0,065	0,097	0,106	0,119
	T4	0,024	0,037	0,047	0,062	0,085	0,108
20°	11	0,027	0,041	0,059	0,088	0,114	0,137
	12A	0,028	0,039	0,051	0,066	0,083	0,098
	12B	0,040	0,073	0,092	0,136	0,175	0,223
	12C	0,030	0,047	0,123	0,115	0,152	0,200
	1A	0,032	0,040	0,052	0,068	0,086	0,112
	1B	0,038	0,053	0,070	0,100	0,128	0,160
	1C	0,030	0,044	0,068	0,103	0,141	0,193
	2A	0,030	0,033	0,043	0,052	0,071	0,084
	2B	0,025	0,039	0,052	0,073	0,107	0,142
	2C	0,031	0,047	0,054	0,070	0,090	0,117
	T1	0,037	0,054	0,089	0,138	0,201	0,245
	T2	0,042	0,073	0,103	0,152	0,185	0,247
	T3	0,029	0,047	0,074	0,108	0,139	0,178
	T4	0,041	0,061	0,091	0,124	0,157	0,187
	11	0,035	0,060	0,094	0,118	0,152	0,172
	12A	0,035	0,060	0,090	0,128	0,170	0,214
25°	12B	0,045	0,078	0,111	0,149	0,179	0,207
	12C	0,034	0,050	0,067	0,094	0,110	0,134
	1A	0,040	0,069	0,113	0,161	0,227	0,296
	1B	0,042	0,074	0,135	0,183	0,264	0,333
	1C	0,043	0,070	0,109	0,168	0,229	0,285
	2A	0,036	0,052	0,098	0,138	0,152	0,167
	2B	0,034	0,057	0,107	0,142	0,163	0,211
	2C	0,034	0,054	0,088	0,120	0,135	0,139
	T1	0,039	0,069	0,116	0,161	0,202	0,279
	T2	0,041	0,066	0,088	0,137	0,183	0,262
	T3	0,045	0,070	0,093	0,130	0,164	0,218
	T1	0,037	0,053	0,080	0,112	0,144	0,182
	T2	0,042	0,085	0,111	0,151	0,189	0,234
	T3	0,031	0,051	0,070	0,092	0,122	0,152
	T4	0,036	0,063	0,085	0,122	0,159	0,181
	11	0,034	0,047	0,047	0,087	0,043	0,045
30°	12A	0,032	0,040	0,032	0,046	0,037	0,038
	12B	0,039	0,056	0,063	0,073	0,075	0,075
	12C	0,036	0,047	0,052	0,056	0,054	0,052
	1A	0,041	0,053	0,072	0,088	0,130	0,168
	1B	0,042	0,062	0,090	0,107	0,140	0,158
	1C	0,030	0,067	0,079	0,102	0,132	0,164
	2A	0,033	0,043	0,053	0,068	0,086	0,110
	2B	0,031	0,045	0,060	0,073	0,099	0,124
	2C	0,041	0,056	0,073	0,113	0,153	0,199
	T1	0,051	0,052	0,071	0,078	0,100	0,120*
	T2	0,041	0,046	0,072	0,072	0,096	0,115*
	T3	0,034	0,044	0,061	0,071	0,088	0,096
35°							

## APPENDICE E

Logarithmes des densités optiques enregistrées, selon le temps (jours) de culture et la température

Scenedesmus										
Température d'acclimatation	Culture	Jour 0	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	k'	Corrélation	Erreur type de k'
10°	T <sub>1</sub>	-1,434	-1,337	-1,255	-1,150	-1,040	-0,883	0,107	0,9940	0,0059
	T <sub>2</sub>	-1,244	-1,143	-1,009	-0,910	-0,797	-0,680	0,113	0,9946	0,0019
	T <sub>3</sub>	-1,398	-1,256	-1,137	-0,979	-0,860	-0,735	0,133	0,9993	0,0024
	T <sub>4</sub>	-1,382	-1,268	-1,149	-1,108	-1,032	-0,817	0,102	0,9778	0,0109
	11	-1,417	-1,184	-0,955	-0,753	-0,586	-0,447	0,197	0,9964	0,0084
	12A	-1,288	-1,066	-0,854	-0,730	-0,471	-0,505	0,166	0,9749	0,0190
	12B	-1,233	-0,996	-0,768	-0,599	-0,485	-0,423	0,164	0,9781	0,0175
	12C	-1,229	-0,996	-0,796	-0,618	-0,504	-0,419	0,163	0,9851	0,0142
	1A	-1,319	-1,309	-1,208	-1,076	-0,971	-0,854	0,100	0,9816	0,0097
	1B	-1,284	-1,276	-1,164	-1,032	-0,943	-0,806	0,101	0,9818	0,0098
	1C	-1,260	-1,076	-0,921	-0,775	-0,654	-0,536	0,144	0,9964	0,0061
	2A	-1,276	-1,097	-0,959	-0,851	-0,767	-0,653	0,120	0,9916	0,0079
	2B	-1,252	-1,111	-0,987	-0,907	-0,807	-0,675	0,111	0,9967	0,0045
	2C	-1,319	-1,215	-1,051	-0,947	-0,894	-0,770	0,109	0,9916	0,0071
15°	T <sub>1</sub>	-1,352	-1,201	-1,000	-0,807	-0,700	-0,601	0,156	0,9917	0,0101
	T <sub>2</sub>	-1,215	-0,957	-0,772	-0,631	-0,493	-0,403	0,160	0,9856	0,0137
	T <sub>3</sub>	-1,280	-1,140	-0,949	-0,762	-0,615	-0,504	0,161	0,9967	0,0065
	T <sub>4</sub>	-1,305	-1,078	-0,888	-0,707	-0,571	-0,442	0,172	0,9942	0,0093
	11	-1,352	-1,029	-0,792	-0,571	-0,440	-0,339	0,202	0,9806	0,0201
	12A	-1,240	-0,975	-0,762	-0,571	-0,529	-0,441	0,158	0,9660	0,0211
	12B	-1,305	-1,060	-0,824	-0,646	-0,487	-0,395	0,184	0,9884	0,0141
	12C	-1,292	-0,996	-0,757	-0,562	-0,437	-0,342	0,189	0,9802	0,0191
	1A	-1,347	-1,143	-0,955	-0,788	-0,660	-0,538	0,162	0,9945	0,0085
	1B	-1,314	-1,116	-0,928	-0,698	-0,548	-0,433	0,181	0,9951	0,0090
	1C	-1,301	-1,116	-0,917	-0,706	-0,526	-0,412	0,184	0,9968	0,0074
	2A	-1,252	-1,011	-0,820	-0,658	-0,461	-0,438	0,168	0,9834	0,0155
	2B	-1,276	-1,018	-0,796	-0,605	-0,504	-0,427	0,171	0,9779	0,0183
	2C	-1,323	-1,184	-1,015	-0,793	-0,634	-0,496	0,172	0,9977	0,0059
20°	T <sub>1</sub>	-1,357	-1,146	-0,918	-0,747	-0,636	-0,526	0,167	0,9880	0,0131
	T <sub>2</sub>	-1,280	-1,036	-0,754	-0,548	-0,405	-0,353	0,192	0,9778	0,0206
	T <sub>3</sub>	-1,377	-1,105	-0,859	-0,680	-0,535	-0,430	0,189	0,9857	0,0162
	11	-1,382	-1,092	-0,845	-0,656	-0,539	-0,442	0,187	0,9791	0,0194
	12A	-1,240	-0,921	-0,658	-0,504	-0,388	-0,335	0,179	0,9629	0,0251
	12B	-1,387	-1,020	-0,775	-0,582	-0,439	-0,362	0,202	0,9719	0,0215
	12C	-1,260	-0,951	-0,728	-0,544	-0,423	-0,362	0,179	0,9722	0,0244
	1A	-1,323	-1,137	-0,955	-0,790	-0,639	-0,533	0,160	0,9961	0,0071
	1B	-1,367	-1,084	-0,855	-0,675	-0,536	-0,431	0,186	0,9849	0,0163
	1C	-1,328	-1,149	-0,889	-0,658	-0,503	-0,383	0,197	0,9929	0,0118
	2A	-1,284	-1,105	-0,857	-0,714	-0,577	-0,465	0,166	0,9910	0,0112
	2B	-1,276	-1,070	-0,839	-0,613	-0,484	-0,401	0,182	0,9872	0,0147
	2C	-1,276	-1,097	-0,866	-0,684	-0,569	-0,462	0,167	0,9902	0,0118
25°	T <sub>1</sub>	-1,352	-1,095	-0,857	-0,659	-0,519	-0,409	0,190	0,9881	0,0148
	T <sub>2</sub>	-1,328	-1,119	-0,878	-0,677	-0,589	-0,461	0,175	0,9867	0,0144
	T <sub>3</sub>	-1,347	-1,046	-0,757	-0,524	-0,415	-0,332	0,206	0,9739	0,0240
	T <sub>4</sub>	-1,357	-1,015	-0,720	-0,538	-0,486	-0,364	0,192	0,9854	0,0281
	11	-1,319	-1,105	-0,882	-0,719	-0,605	-0,502	0,164	0,9874	0,0132
	12A	-1,310	-1,105	-0,963	-0,735	-0,653	-0,579	0,150	0,9841	0,0135
	12B	-1,377	-1,066	-0,857	-0,703	-0,671	-0,550	0,156	0,9589	0,0231
	12C	-1,347	-1,149	-0,971	-0,818	-0,738	-0,644	0,140	0,9853	0,0121
	1A	-1,352	-1,046	-0,824	-0,511	-0,532	-0,412	0,187	0,9578	0,0281
	1B	-1,328	-1,041	-0,799	-0,585	-0,441	-0,363	0,195	0,9819	0,0189
	1C	-1,328	-1,097	-0,878	-0,660	-0,532	-0,423	0,184	0,9899	0,0132
	2A	-1,268	-0,998	-0,761	-0,601	-0,482	-0,405	0,172	0,9770	0,0188
	2B	-1,456	-0,987	-0,720	-0,520	-0,409	-0,327	0,217	0,9535	0,0342
	2C	-1,222	-0,951	-0,688	-0,523	-0,413	-0,321	0,180	0,9763	0,0199
27°	T <sub>1</sub>	-1,222	-1,004	-0,812	-0,622	-0,553	-0,403	0,161	0,9887	0,0122
	T <sub>2</sub>	-1,201	-0,921	-0,695	-0,511	-0,417	-0,298	0,177	0,9805	0,0178
	T <sub>3</sub>	-1,215	-0,987	-0,759	-0,690	-0,456	-0,338	0,173	0,9911	0,0116
30°	T <sub>1</sub>	-1,316	-1,155	-0,954	-0,809	-0,710	-0,605	0,144	0,9911	0,0097
	T <sub>2</sub>	-1,310	-1,076	-0,914	-0,761	-0,638	-0,541	0,152	0,9893	0,0112
	T <sub>3</sub>	-1,284	-1,000	-0,784	-0,576	-0,453	-0,367	0,183	0,9775	0,0197
	T <sub>4</sub>	-1,297	-1,097	-0,814	-0,623	-0,499	-0,390	0,186	0,9862	0,0156
	11	-1,352	-1,276	-1,297	-1,444	-1,530	-1,642	-0,067	-0,8812	0,0181
	12A	-1,301	-1,268	-1,538	-1,658	-1,770	-1,824	-0,121	-0,9645	0,0166
	12B	-1,301	-1,284	-1,509	-1,710	-1,770	-1,783	-0,116	-0,9498	0,0191
	12C	-1,319	-1,310	-1,481	-1,710	-1,733	-1,770	-0,107	-0,9496	0,0177
	1A	-1,276	-1,105	-0,923	-0,745	-0,615	-0,517	0,156	0,9946	0,0081
	1B	-1,280	-0,991	-0,702	-0,531	-0,433	-0,372	0,182	0,9641	0,0251
	1C	-1,297	-1,134	-0,843	-0,659	-0,511	-0,402	0,187	0,9894	0,0137
	2A	-1,276	-1,002	-0,758	-0,590	-0,476	-0,403	0,175	0,9749	0,0199
	2B	-1,342	-1,009	-0,726	-0,506	-0,400	-0,327	0,203	0,9682	0,0263
	2C	-1,420	-1,347	-1,233	-1,071	-0,901	-0,770	0,136	0,9927	0,0082
	T <sub>1</sub>	-1,347	-1,276	-1,229	-1,171	-1,128	-1,089	0,051	0,9953	0,0025
	T <sub>2</sub>	-1,328	-1,252	-1,204	-1,143	-1,094	-1,051	0,055	0,7188	0,0024

Logarithmes des densités optiques enregistrées, selon le temps (Jours) de culture et la température

Pediastrum

Température d'acclimatation	Culture	Jour 0	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	k'	Corrélation	Erreur type de k'
10°	T <sub>1</sub>	-1,357	-1,301	-1,244	-1,201	-1,137	-1,051	0,059	0,9946	0,0031
	T <sub>2</sub>	-1,569	-1,538	-1,444	-1,367	-1,301	-1,187	0,077	0,9914	0,0051
	T <sub>3</sub>	-1,553	-1,456	-1,377	-1,284	-1,215	-1,114	0,086	0,9991	0,0018
	T <sub>4</sub>	-1,432	-1,367	-1,319	-1,292	-1,201	-1,131	0,058	0,9894	0,0043
	11	-1,387	-1,180	-1,060	-0,928	-0,845	-0,772	0,120	0,9835	0,0111
	12A	-1,409	-1,268	-1,143	-0,987	-0,857	-0,750	0,134	0,9989	0,0031
	12B	-1,495	-1,237	-1,143	-0,971	-0,848	-0,717	0,149	0,9913	0,0099
	12C	-1,398	-1,319	-1,229	-1,097	-0,996	-0,860	0,108	0,9961	0,0048
	1A	-1,523	-1,495	-1,377	-1,284	-1,201	-1,081	0,091	0,9916	0,0059
	1B	-1,337	-1,276	-1,222	-1,125	-1,032	-0,963	0,077	0,9953	0,0037
	1C	-1,398	-1,284	-1,222	-1,125	-1,051	-0,979	0,083	0,9971	0,0032
	2A	-1,538	-1,444	-1,357	-1,301	-1,244	-1,187	0,069	0,9925	0,0042
	2B	-1,523	-1,444	-1,420	-1,319	-1,237	-1,174	0,070	0,9922	0,0044
	2C	-1,538	-1,456	-1,409	-1,367	-1,252	-1,187	0,069	0,9903	0,0048
15°	T <sub>1</sub>	-1,523	-1,347	-1,229	-1,071	-0,932	-0,830	0,139	0,9976	0,0048
	T <sub>2</sub>	-1,420	-1,237	-1,066	-0,883	-0,772	-0,678	0,151	0,9922	0,0095
	T <sub>3</sub>	-1,620	-1,310	-1,125	-0,979	-0,821	-0,726	0,174	0,9827	0,0164
	T <sub>4</sub>	-1,456	-1,310	-1,260	-1,143	-0,996	-0,857	0,116	0,9924	0,0073
	11	-1,538	-1,328	-1,155	-0,971	-0,824	-0,726	0,164	0,9941	0,0090
	12A	-1,509	-1,310	-1,155	-0,991	-0,845	-0,692	0,161	0,9988	0,0040
	12B	-1,377	-1,108	-0,932	-0,785	-0,688	-0,613	0,149	0,9750	0,0170
	12C	-1,509	-1,301	-1,108	-0,963	-0,824	-0,676	0,164	0,9962	0,0072
	1A	-1,523	-1,367	-1,229	-1,081	-0,917	-0,770	0,150	0,9998	0,0016
	1B	-1,398	-1,284	-1,114	-0,987	-0,939	-0,857	0,110	0,9842	0,0099
	1C	-1,523	-1,377	-1,222	-1,036	-0,883	-0,742	0,159	0,9993	0,0030
	2A	-1,456	-1,337	-1,284	-1,167	-0,996	-0,857	0,092	0,9962	0,0040
	2B	-1,387	-1,229	-1,131	-0,975	-0,917	-0,824	0,112	0,9908	0,0076
	2C	-1,468	-1,328	-1,237	-1,113	-0,967	-0,857	0,122	0,9985	0,0033
20°	T <sub>1</sub>	-1,495	-1,337	-1,149	-1,022	-0,893	-0,770	0,145	0,9967	0,0059
	T <sub>2</sub>	-1,367	-1,201	-1,009	-0,854	-0,764	-0,660	0,143	0,9904	0,0100
	T <sub>3</sub>	-1,553	-1,409	-1,187	-1,013	-0,975	-0,924	0,132	0,9658	0,0177
	T <sub>4</sub>	-1,620	-1,432	-1,328	-1,208	-1,071	-0,967	0,128	0,9962	0,0056
	11	-1,569	-1,387	-1,229	-1,056	-0,943	-0,863	0,144	0,9915	0,0095
	12A	-1,553	-1,409	-1,292	-1,180	-1,081	-1,009	0,109	0,9946	0,0057
	12B	-1,398	-1,137	-1,036	-0,866	-0,757	-0,652	0,144	0,9868	0,0118
	12C	-1,523	-1,328	-0,910	-0,939	-0,818	-0,699	0,161	0,9419	0,0236
	1A	-1,495	-1,398	-1,284	-1,167	-1,066	-0,951	0,110	0,9997	0,0013
	1B	-1,420	-1,276	-1,155	-1,000	-0,893	-0,796	0,126	0,9974	0,0046
	1C	-1,523	-1,357	-1,167	-0,987	-0,851	-0,714	0,164	0,9978	0,0054
	2A	-1,523	-1,481	-1,367	-1,284	-1,149	-1,076	0,095	0,9929	0,0057
	2B	-1,602	-1,409	-1,284	-1,137	-0,971	-0,848	0,149	0,9583	0,0043
	2C	-1,509	-1,328	-1,268	-1,155	-1,046	-0,932	0,110	0,9936	0,0062
25°	T <sub>1</sub>	-1,432	-1,268	-1,051	-0,860	-0,697	-0,611	0,172	0,9934	0,0099
	T <sub>2</sub>	-1,377	-1,137	-0,987	-0,818	-0,733	-0,607	0,149	0,9879	0,0117
	T <sub>3</sub>	-1,538	-1,328	-1,131	-0,967	-0,957	-0,750	0,158	0,9897	0,0114
	T <sub>4</sub>	-1,387	-1,215	-1,041	-0,907	-0,804	-0,728	0,133	0,9887	0,0101
	11	-1,456	-1,222	-1,027	-0,928	-0,818	-0,764	0,136	0,9719	0,0165
	12A	-1,456	-1,222	-1,046	-0,893	-0,770	-0,670	0,155	0,9890	0,0116
	12B	-1,347	-1,108	-0,955	-0,827	-0,747	-0,684	0,129	0,9723	0,0155
	12C	-1,469	-1,301	-1,174	-1,027	-0,959	-0,873	0,119	0,9890	0,0089
	1A	-1,398	-1,161	-0,947	-0,793	-0,644	-----	0,173	0,9913	0,0115
	1B	-1,377	-1,131	-0,870	-0,738	-0,578	-----	0,178	0,9866	0,0147
	1C	-1,367	-1,155	-0,963	-0,775	-0,640	-0,545	0,167	0,9916	0,0109
	2A	-1,444	-1,284	-1,009	-0,860	-0,818	-0,777	0,139	0,9542	0,0218
	2B	-1,469	-1,244	-0,971	-0,848	-0,788	-0,676	0,156	0,9685	0,0200
	2C	-1,468	-1,268	-1,056	-0,921	-0,870	-0,857	0,125	0,9483	0,0210
27°	T <sub>1</sub>	-1,409	-1,161	-0,936	-0,793	-0,695	-0,554	0,166	0,9850	0,0145
	T <sub>2</sub>	-1,386	-1,180	-1,056	-0,863	-0,738	-0,582	0,158	0,9977	0,0054
	T <sub>3</sub>	-1,347	-1,155	-1,031	-0,947	-0,785	-0,662	0,132	0,9951	0,0065
30°	T <sub>1</sub>	-1,432	-1,276	-1,097	-0,951	-0,842	-0,740	0,140	0,9942	0,0076
	T <sub>2</sub>	-1,377	-1,071	-0,955	-0,821	-0,724	-0,631	0,140	0,9717	0,0170
	T <sub>3</sub>	-1,509	-1,292	-1,155	-1,036	-0,914	-0,818	0,135	0,9904	0,0094
	T <sub>4</sub>	-1,444	-1,201	-1,071	-0,914	-0,799	-0,742	0,139	0,9816	0,0135
	11	-1,469	-1,328	-1,328	-1,060	-1,367	-1,347	0,022	0,2986	0,0347
	12A	-1,495	-1,398	-1,495	-1,337	-1,432	-1,420	0,012	0,3816	0,0149
	12B	-1,409	-1,252	-1,201	-1,137	-1,125	-1,125	0,053	0,9010	0,0128
	12C	-1,144	-1,328	-1,284	-1,252	-1,268	-1,268	0,029	0,7687	0,0120
	1A	-1,387	-1,276	-1,143	-1,056	-0,885	-0,775	0,123	0,9975	0,0044
	1B	-1,377	-1,208	-1,046	-0,971	-0,854	-0,801	0,115	0,9836	0,0105
	1C	-1,523	-1,174	-1,102	-0,991	-0,879	-0,785	0,134	0,9594	0,0197
	2A	-1,481	-1,367	-1,276	-1,167	-1,066	-0,959	0,103	0,9997	0,0012
	2B	-1,509	-1,347	-1,222	-1,137	-1,004	-0,907	0,118	0,9960	0,0053
	2C	-1,387	-1,252	-1,137	-0,947	-0,815	-0,701	0,141	0,9977	0,0048
35°	T <sub>1</sub>	-1,301	-1,284	-1,149	-1,108	-1,000	-0,921	0,069	0,9812	0,0068
	T <sub>2</sub>	-1,387	-1,337	-1,143	-1,143	-1,018	-0,939	0,078	0,9654	0,0105
	T <sub>3</sub>	-1,468	-1,357	-1,214	-1,149	-1,056	-1,018	0,077	0,9550	0,0120

## APPENDICE F

Liste des souches bactériennes isolées de la culture  
de l'algue *Scenedesmus* et de leur milieu habituel

Souche	Genre	Habitat habituel
1	<u>Corynebacterium</u>	l'eau, le sol, l'air
2	<u>Leptothrix</u>	l'eau
3	<u>Flavobacterium</u>	l'eau douce, salée, le sol
4	<u>Pseudomonas</u>	l'eau douce, salée, le sol
5	<u>Arthrobacter</u>	le sol
6	<u>Pseudomonas</u>	l'eau douce, salée, le sol
7	<u>Vibrio</u>	l'eau douce, salée
8	<u>Leptothrix</u>	l'eau
10	<u>Staphylococcus</u>	l'épiderme

(d'après Trudel, 1977)